

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL BATISTA

GASES DE EFEITO ESTUFA DO SOLO E DOS DEJETOS E ESTOQUE DE C E N
EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVINOS EM PASTAGEM

CURITIBA

2019

RAFAEL BATISTA

GASES DE EFEITO ESTUFA DO SOLO E DOS DEJETOS E ESTOQUE DE C E N
EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVINOS EM PASTAGEM

Tese apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Doutor em Zootecnia, no Curso
de Pós-Graduação em Zootecnia, Setor de Ciências
da Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Alda Lucia Gomes Monteiro

Co-Orientadores: Prof. Dr. Cimélio Bayer
Dr. Alexandre Berndt

CURITIBA

2019

B333g Batista, Rafael
 Gases de efeito estufa do solo e dos dejetos e estoque de C e
 N em sistemas de produção de ovinos em pastagem / Rafael
 Batista. - Curitiba, 2019.
 99 p.: il.

 Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de
 Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

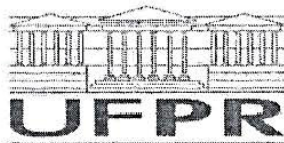
 Orientadora: Alda Lucia Gomes Monteiro

 Coorientador: Cimélio Bayer

 Coorientador: Alexandre Berdnt

 1. Solos - teor de nitrogênio. 2. Carbono. 3. Ovino. 4. Caprino.
 5. Efeito estufa (Atmosfera). I. Monteiro, Alda Lucia Gomes
 (Orientadora). II. Bayer, Cimélio (Coorientador). III. Berdnt,
 Alexandre (Coorientador). IV. Título. V. Universidade Federal do
 Paraná.

CDU 631.417.4



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOTECNIA -
40001016082P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **RAFAEL BATISTA** intitulada: **Gases de efeito estufa do solo e dos dejetos e estoque de C e N em sistemas de produção de ovinos em pastagem**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 03 de Abril de 2019.

ALDA LUCIA GOMES MONTEIRO
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

JONATAS THIAGO PIVA
Avaliador Externo (UFSC)

SEBASTIÃO BRASIL CAMPOS LUSTOSA
Avaliador Externo (UNICENTRO)

JEFERSON DIECKOW
Avaliador Externo (UFPR)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais de criação **Carlito Ramos Leal** e **Cilene Aparecida de Liz Leal**, que sonharam o meu sonho, no dia em que decidi fazer o doutorado e falei da necessidade do apoio deles, nunca colocaram barreiras em meus objetivos e sempre me incentivaram a nunca parar. A minha mãe **Marijane Batista**, que ao decidir se privar de ver o meu crescimento e desenvolvimento em prol de uma visão de oportunidade de vida para mim melhor, me deixando para ser criado por meus padrinhos.

A minha companheira, **Andréia Fátima da Costa**, uma das principais personagens para o desenvolvimento profissional atuando indiretamente, que nos momentos de fraquezas nunca permitiu que a insegurança e cansaço mental abalancem a minha trajetória dentro da pós-graduação. Aquela que sofreu muito com a distância e a ausência.

A professora **Alda Lucia Gomes Monteiro**, minha orientadora, a qual tenho uma imensa gratidão, admiração e respeito. Que deu aquela sacudida mental, mas sempre, pensando na excelência do trabalho e crescimento profissional. Ressalto novamente a minha gratidão por todas as oportunidades que a senhora abriu para mim.

A **Mylena Taborda Piquera Peres**, que choramos junto, sorrimos junto, sofremos juntos, viajamos, moramos junto, trabalhamos junto, engordamos junto, apoiamos um ao outro. Funcionamos como uma dupla verdadeiramente, cada um dando suporte um ao outro. Sabe que para mim é difícil expressar o que foi a nossa parceria nesses anos.

A **Laura Derenevicz Faisca**, sou extremamente grato por cada conversa franca e sincera que tivemos, por todos os seus conselhos pela sua preocupação com o experimento com as coletas. Também a **Ana Carolina Carvalho Neves** que da mesma forma estava disposta a ajudar, tirar minhas dúvidas e colaborou muito nas coletas.

Ao **Elísio de Camargo Debortoli**, que por várias vezes ajudou nas correrias experimentais, comprar material, levar material, pegar emprestado material, carrega descarrega, leva para o LAPOC, leva para o Agrárias, pega o pessoal para ir fazer coleta. A **Karla Francisca Duarte Campos**, que sempre me fez correr mais que minhas pernas me permitiam, que revitalizou a alegria.

A **Tehane de Souza Twardowski** que ajudou nas coletas com dedicação, correu com materiais, amostras e todo que se possa imaginar, viajou para análises complementares.

A idealizadora do projeto **Amanda Moser Coelho da Fonseca Faro**, que elaborou o projeto enviou ao CNPq mas que a maternidade não lhe permitiu tocar o experimento, e para minha felicidade foi herdado por mim. E por todas as dúvidas que apareceram ao longo do tempo que você sempre prontamente esclareceu ou deu o norte para a resposta.

Ao auto proclamado “**LAPOC Team**” o grupo mais feliz e unido, gostaria de expressar a minha gratidão por terem me aceito junto a vocês. Dentro do grupo tenho que destacar minha gratidão a alguns alunos da graduação que tiveram expressiva importância dentro do experimento. Os mais “antigos” **Aline Milani Fillus, Fernanda Gerhardt de Freitas, João Gabriel Rodrigues dos Santos, Julia Marjorie Meirinho, Nicole Thomazi e Paula Ishiyama Krüger**, vocês foram os estagiários que mais vezes participaram de coletas de gases do solo, muito obrigado pela paciência e dedicação nas coletas, sei o quanto sofremos com as infinitas e chatíssimas coletas, mas vocês foram guerreiros todo o tempo. Especial para o **Ricardo Wilczek Filho** pelo seu trabalho meticuloso, incansável e sem nunca reclamar das dificuldades durante o experimento e mesmo depois, tanto nas coletas de gases, medições de pastagem e moagem de solo.

Não esquecendo dos demais agradeço pela ajuda de vocês em todas as etapas da execução deste experimento o qual jamais sairia do papel sem o esforço de vocês, seria impossível não agradecer a todos os estagiários que passaram pelo LAPOC nesses anos: **Agne Holowka, Alexandre Coutinho, Alisson Roberti, Bhedlyn Terezin de Sena, Bruna Izabele Gabardo, Daniella Marques Bolincenha, Emanoele Gomes, Gabriela Mesquita, Giovane Costa, Izabella Severino, Jacky Freitas Motta, Júlia Castilhos Martins, Karina Rosalen, Leonardo Pereira Damrat, Maryclara Bonecher, Paulo Sérgio Swiatyi Junior, Rafaela Kormann, Thailine Scucato, Vanessa Chek e Vanessa Knopp**.

Aos funcionários do LAPOC, **Seu Lazinho, Sérgio, Polaco, Júlio, China, Norton e Seu Luiz**, que sempre ajudaram e se dispunham a colaborar com as atividades, o trabalho de vocês foi muito importante.

O Prof. **Jonatas Thiago Piva** da UFSC (Curitiba, SC) que por várias vezes ajudou e colaborou com esta pesquisa, desde as coletas iniciais.

Ao Prof. **Jeferson Dieckow** e seus orientados **Reinaldo Brevilieri**, **Julia Ferreira**, **Caroline Amadori** e **Ricardo Henrique Ribeiro** que por várias vezes colaboram com o projeto, desde a elaboração, tirando dúvidas, emprestando materiais e nas análises e resultados observados.

Ao Laboratório de Solos da UFRGS e ao meu co-orientador o Prof. **Cimélio Bayer** e os técnicos de laboratório **Cecilia Sacramento**, **Daiane Carvalho dos Santos**, **Janquieli Schirmann** e **Tiago Zschornack** e que realizaram as análises cromatográficas dos gases do experimento.

Aos membros da **Banca Examinadora** pela sua atenção e por todas as contribuições dedicadas que vieram a melhorar a qualidade deste trabalho.

E por último, sim por último, eu realmente te deixei para o final, o meu grande amigo e irmão **André Aguiar Zambon**, que ajudou e muito no experimento e nos dados. Estendo a Família Zambon que me acolheu em sua casa diversas vezes me tratando como um filho.

A todos MUITO OBRIGADO!

“Animais de produção não causam problemas ambientais.
É a nossa incompetência em cria-los que causa”

Augusto Hauber Gameiro (2016)

RESUMO

A suplementação e desmame de cordeiros compreendem manejos que alteram os ciclos de C e N em sistemas de produção a pasto, controlando a qualidade do solo e as emissões de gases de efeito estufa. O presente estudo foi conduzido para avaliar os fluxos de CH_4 e N_2O do solo (CAPÍTULO III); determinar os Fatores de Emissão (FE) do CH_4 e N_2O dos dejetos (CAPÍTULO IV); e o estoque de carbono e nitrogênio do solo (CAPÍTULO V) de sistemas de produção de ovinos em pastagem. Sendo realizado no Laboratório de Pesquisa e Produção de Ovinos e Caprino (LAPOC), em Pinhais - PR, entre 2014 e 2017. A área experimental era de um Latossolo vermelho amarelo com pastagem mista. Sistemas avaliados foram: Lactente, sem o desmame dos cordeiros, mantidos com a sua respectiva mãe em pastagem até atingir o peso de abate; Desmame, com desmame do cordeiro, mantidos em pastagem e recebendo suplementação concentrada de 20 g MS.kg PC⁻¹. O método de pastejo foi contínuo, com taxa de lotação variável e oferta de forragem de 160 g MS.kg PC⁻¹.d⁻¹. Foram utilizadas câmaras de retenção de gases estáticas, sendo a frequência de coleta variável. As concentrações de CH_4 e N_2O foram determinadas por cromatografia gasosa, e calculadas as taxas de emissão dos mesmos. Foram simuladas defecação e micção em bases, para cada dejetos foi calculado o FE. Os estoques de C e N do solo foram amostrados em oito camadas: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-45, 45-60, 60-80, 80-100 cm. Os teores de C e N no solo foram determinados em analisador elementar. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e dois tratamentos, os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância pelo teste Tukey ao nível de significância de 10%. O fluxo de CH_4 variou entre 252,2 a -220,4 mg C- CH_4 .m⁻².h⁻¹, apresentando picos isolados de emissão após a aplicação de N-inorgânico, as emissões acumuladas de CH_4 no sistema com desmame foram de -2,97 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.ano⁻¹, em 2016, sendo inferior ao sistema lactente com 7,6 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.ano⁻¹, mas, não diferiram em 2015 (P>0,10). O fluxo de N_2O variaram entre 703,7 a -66,4 µg N- N_2O .m⁻².h⁻¹, com picos de emissão após a aplicação do N mineral. Contudo, a emissão acumulada do gás não foi afetada pelo sistema de produção tendo média de 147,7 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.ano⁻¹. Os FE não foram afetados pelo sistema de produção nas duas categorias animais (P>0,10) apresentando médias de 0,56%, 0,54% e 0,26% para ovelhas e de 0,64%, 0,60% e 0,50% dos cordeiros para os FE de CH_4 das fezes, e FE de N_2O das fezes e urina, respectivamente. Os estoques de C não foram afetados pelos sistemas de produção até 100 cm (159 Mg C.ha⁻¹). Já os estoques de N nas camadas mais profundas foram superiores no sistema com desmame. Conclui-se que o sistema de produção com desmame apresentou melhores resultados, atuando como dreno de CH_4 pelo solo, e promovendo maior estoque de N no solo.

Palavras-chave: Dejetos. Estoque de Carbono. Fator de Emissão. Metano. Óxido Nitroso.

ABSTRACT

Lamb supplementation and weaning comprise management that alter C and N cycles in pasture production systems, controlling soil quality and greenhouse gas emissions. The present study was conducted to evaluate soil CH₄ and N₂O fluxes (CHAPTER III); determine the Emission Factors (FE) of CH₄ and N₂O from waste (CHAPTER IV); and the soil carbon and nitrogen stocks (CHAPTER V) of pasture sheep production systems. It was carried out at the Laboratory of Research and Production of Sheep and Goats (LAPOC), in Pinhais - PR, between 2014 and 2017. The experimental area was of a Oxisol with mixed pasture. The evaluated systems were: Suckling, without weaning of the lambs, maintained with their respective mother in pasture until reaching the slaughter weight; Weaning, weaned from lamb, kept on pasture and receiving concentrated supplementation of 20 g DM.kg BW⁻¹. The grazing method was continuous, with variable stocking rate and forage supply of 160 g DM.kg BW⁻¹.day⁻¹. Static gas retention chambers were used, and the collection frequency was variable. The concentrations of CH₄ and N₂O were determined by gas chromatography, and emission rates were calculated. Defecation and micturition were simulated in bases, for each case the EF was calculated. Soil C and N stocks were sampled in eight layers: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-45, 45-60, 60-80, 80-100 cm. The soil C and N contents were determined in elemental analyzer. A completely randomized design with four replicates and two treatments was used, the data obtained were analyzed by Tukey test at a significance level of 10%. The CH₄ flux ranged from 252.2 to -220.4 mg C-CH₄.m⁻².h⁻¹, showing isolated emission peaks after N-inorganic application, the accumulated emissions of CH₄ in the weaned system were of 2.97 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.year⁻¹ in 2016, being lower than the Suckling system with 7.6 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.year⁻¹ but did not differ by 2015 (P> 0.10). The N₂O flux varied from 703.7 to -66.4 µg N-N₂O.m⁻².h⁻¹, with emission peaks after application of the mineral N. However, the cumulative gas emission was not affected by the production system having a mean of 147.7 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.year⁻¹. FE was not affected by the production system in the two animal categories (P> 0.10) presenting a mean of 0.56%, 0.54% and 0.26% for sheep and 0.64%, 0.60% and 0.50% of lambs for faecal CH₄ FE, and N₂O FE of faeces and urine, respectively. C stocks were not affected by production systems up to 100 cm (159 Mg C.ha⁻¹). On the other hand, the N stocks in the deeper layers were higher in the weaning system. It was concluded that the weaning production system presented better results, acting as drainage of CH₄ by the soil, and promoting a higher N inventory in the soil.

Keywords: Carbon Stock. Emission Factor. Methane. Nitrous Oxide. Waste.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO	1	-	TEMPERATURA MÉDIA DO AR E PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DIÁRIAS ENTRE JANEIRO DE 2015 E JANEIRO DE 2017. PINHAIS - PR	40
GRÁFICO	2	-	TAXA DE EMISSÃO DO METANO (CH ₄) EM UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA DURANTE O ANO DE 2015 A 2016. PINHAIS - PR.....	47
GRÁFICO	3	-	TAXA DE EMISSÃO DO ÓXIDO NITROSO (N ₂ O) EM UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA DURANTE O ANO DE 2015 A 2016. PINHAIS - PR..	49
GRÁFICO	4	-	EMISSIONES ACUMULADAS ANUAIS DE METANO (A) E ÓXIDO NITROSO (B) DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA DURANTE O ANO DE 2015 E 2016. PINHAIS - PR.....	50
GRÁFICO	5	-	TEMPERATURA DE LATOSSOLO VERMELHO AMARELO A PROFUNDIDADE DE 0-5 CM EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA DURANTE O ANO DE 2015 E 2016. PINHAIS - PR	51
GRÁFICO	6	-	POROSIDADE PREENCHIDA COM AGÚA (PPA) EM UM LATOSSOLO VERMELHO A PROFUNDIDADE DE 0-5 CM AMARELO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA DURANTE O ANO DE 2015 (A) E 2016 (B). PINHAIS - PR.....	51
GRÁFICO	7	-	TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA E PRECIPITAÇÃO DIÁRIA AO LONGO PERÍODO EXPERIMENTAL POR ANO 2014 (A), 2015 (B) E 2016 (C). PINHAIS - PR.....	57
GRÁFICO	8	-	TAXAS DE EMISSÃO DE METANO (CH ₄) E ÓXIDO NITROSO (N ₂ O) DO SOLO (BRANCO, ○), URINA (●) E FEZES (●) DE CORDEIROS DESMAMADOS (▲) E LACTENTES (■), E DE	

		<p> OVELHAS LACTANTES (●) E NÃO LACTANTES (◆) POR ANO DE AVALIAÇÃO 2014 (A, B), 2015 (C, D) E 2016 (E, F). PINHAIS - PR..... </p>	65
GRÁFICO	9 -	<p> POROSIDADE PREENCHIDA COM ÁGUA (PPA) E TEMPERATURA DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO A PROFUNDIDADE DE 0-5 CM DAS BASES POR SISTEMAS DE PRODUÇÃO E CATEGORIA ANIMAL EM PASTAGEM MISTA DURANTE O ANO DE 2014 (A, B), 2015 (C, D) E 2016 (E, F). PINHAIS - PR..... </p>	68
GRÁFICO	10 -	<p> CONCENTRAÇÕES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM DIFERENTES SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA E EM CAMPO NATIVO. PINHAIS - PR..... </p>	79

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	-	MODELO CONCEITUAL DOS PROCESSOS BIOGEOQUÍMICOS EVOLVIDOS NAS EMISSÕES METANO E ÓXIDO NITROSO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVINOS EM PASTAGEM.....	25
FIGURA 2	-	SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS AVALIADOS NO LAPOC	27
FIGURA 3	-	MODELO CONCEITUAL DOS PROCESSOS BIOQUÍMICOS NO SOLO PARA AS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	-	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DO LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DA ÁREA EXPERIMENTAL COM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA. PINHAIS - PR.....	39
TABELA 2	-	COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DO SUPLEMENTO CONCENTRADO FARELADO FORNECIDO AOS CORDEIROS DESMAMADOS POR ANO DE AVALIAÇÃO.....	58
TABELA 3	-	PESO CORPORAL E IDADE (MÉDIAS \pm DESVIOS PADRÕES) DOS ANIMAIS <i>TESTERS</i> NO MOMENTO DA COLETA DOS DEJETOS POR ANO DE AVALIAÇÃO, POR CATEGORIA ANIMAL EM PASTAGENS NO SUL DO BRASIL. PINHAIS - PR	58
TABELA 4	-	PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FEZES E URINA (MÉDIA \pm DESVIO PADRÃO) DOS ANIMAIS EM CADA CATEGORIA ANIMAL E SISTEMA DE PRODUÇÃO POR ANO. PINHAIS - PR.....	60
TABELA 5	-	FATOR DE EMISSÃO (FE) (MÉDIA \pm DESVIO PADRÃO) DO METANO (CH ₄) E ÓXIDO NITROSO (N ₂ O) DOS DEJETOS (FEZES E URINA) DOS ANIMAIS EM CADA CATEGORIA ANIMAL E SISTEMA DE PRODUÇÃO POR ANO. PINHAIS - PR	67
TABELA 6	-	DENSIDADE DO SOLO (kg.dm ⁻³) POR PERFIL DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA E CAMPO NATIVO. PINHAIS - PR.....	77
TABELA 7	-	RELAÇÃO CARBONO:NITROGÊNIO EM UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM DIFERENTES SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA E EM CAMPO NATIVO. PINHAIS - PR	79
TABELA 8	-	ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM DIFERENTES SISTEMAS DE	

PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA E EM CAMPO NATIVO. PINHAIS - PR	81
--	----

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO	1	- CONCENTRAÇÃO DOS GASES PELA LEI DOS GASES IDEAIS.....	43
EQUAÇÃO	2	- EMISSÃO ACUMULADA DOS GASES.....	43
EQUAÇÃO	3	- AJUSTE DO FLUXO ACUMULADO ANUAL.....	43
EQUAÇÃO	4	- TRANSFORMAÇÃO DO ÓXIDO NITROSO EM EQUIVALENTE DIÓXIDO DE CARBONO.....	44
EQUAÇÃO	5	- TRANSFORMAÇÃO DO METANO EM EQUIVALENTE DIÓXIDO DE CARBONO.....	44
EQUAÇÃO	6	- POROSIDADE PREENCHIDA COM ÁGUA.....	44
EQUAÇÃO	7	- MODELO MATEMÁTICA PARA ANÁLISE DE VARIÂNCIA.	45
EQUAÇÃO	8	- FATOR DE EMISSÃO DO ÓXIDO NITROSO A PARTIR DOS DEJETOS.....	62
EQUAÇÃO	9	- FATOR DE EMISSÃO DO METANO DAS FEZES.....	63
EQUAÇÃO	10	- DENSIDADE DO SOLO.....	74
EQUAÇÃO	11	- ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO.....	75
EQUAÇÃO	12	- ESTOQUE ACUMULADO DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO.....	75
EQUAÇÃO	13	- CORREÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO PELO EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	76

LISTA DE SIGLAS

CA	-	carga animal
C-CH ₄	-	carbono na forma de metano
C-CO ₂	-	carbono na forma de dióxido de carbono
CH ₄	-	metano
CO ₂	-	dióxido de carbono
CO ₂ -eq	-	equivalência em dióxido de carbono
COT	-	carbono orgânico total
ECC	-	escore da condição corporal
FE	-	fator de emissão
GEE	-	gases de efeito estufa
GMT	-	Greenwich mean time
GPV	-	ganho de peso corporal por hectare
MF	-	massa de forragem
MO	-	matéria orgânica
MOS	-	matéria orgânica do solo
MS	-	matéria seca
N	-	nitrogênio
N ₂ O	-	óxido nitroso
NH ₄ ⁺	-	amônio
N-N ₂ O	-	nitrogênio na forma de óxido nitroso
NO	-	monóxido de nitrogênio
NO ₃ ⁻	-	nitrato
NT	-	nitrogênio total
OF	-	oferta de forragem
PC	-	peso corporal
PF	-	produção fecal
PPA	-	porosidade preenchida com água
TAD	-	taxa de acúmulo diária

LISTA DE SIMBOLOS

% PC.MS d ⁻¹	-	percentual do peso corporal em matéria seca ao dia
%	-	percentual
Σ	-	somatório
©	-	copyright
®	-	marca registrada
A	-	ampère
cm	-	centímetros
g MS.d ⁻¹	-	gramas de matéria seca por dia
g	-	gramas
g.d ⁻¹	-	gramas por dia
g.kg MS ⁻¹	-	gramas por quilograma de matéria seca
h	-	hora
ha	-	hectare
kg C _{eq} .ha ⁻¹ .ano ⁻¹	-	quilograma de equivalente carbono por hectare por ano
kg MS.ha ⁻¹	-	quilogramas de matéria seca por hectare
kg N.ha ⁻¹	-	quilogramas de nitrogênio por hectare
kg N ₂ O.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	-	quilogramas de óxido nitroso por hectare por ano
kg PC	-	quilogramas de peso corporal
kg PC.ha ⁻¹ .dia ⁻¹	-	quilogramas por hectare por dia
kg	-	quilogramas
kg.d ⁻¹	-	quilogramas por dia
m	-	metros
mg CH ₄ .m ⁻² .h ⁻¹	-	miligramas de metano por metro quadrado por hora
mL	-	mililitros
mL.d ⁻¹	-	mililitro por dia
mm	-	milímetros
mm.d ⁻¹	-	milímetros por dia
°C	-	graus Celsius
Pg	-	petagrama
ppbv	-	partes por bilhão de volume
ppmv	-	partes por milhão de volume
Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	-	megagramas por hectare ano

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	21
1.1	OBJETIVOS.....	22
1.1.1	Objetivo Geral e Hipótese	22
1.1.2	Objetivos Específicos.....	24
1.1.3	Modelo Conceitual	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1	SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVINOS EM PASTAGEM	26
2.2	GASES DE EFEITO ESTUFA.....	28
2.2.1	Metano	30
2.2.2	Óxido Nitroso	31
2.3	FATORES QUE AFETAM AS EMISSÕES DE METANO E ÓXIDO NITROSO.....	32
2.3.1	Temperatura, Umidade e Precipitação	32
2.4	EMISSÕES A PARTIR DOS DEJETOS.....	33
2.5	ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO	34
3	CAPÍTULO III: FLUXO DE METANO E ÓXIDO NITROSO DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVINOS EM PASTAGEM MISTA NO SUL DO BRASIL.....	36
	RESUMO	36
	ABSTRACT	37
3.1	INTRODUÇÃO	38
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.2.1	Condições Experimentais	39
3.2.2	Delineamento Experimental	40
3.2.3	Manejo da Pastagem	40
3.2.4	Metano e Óxido Nitroso	41
3.2.4.1	Coleta.....	41
3.2.4.2	Análise cromatográfica dos gases	42
3.2.4.3	Taxa de Emissão e Fluxo dos Gases	42
3.2.5	Temperatura do Solo e Porosidade Preenchida com Água	44
3.2.6	Análise Estatística.....	45

3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.3.1	Taxa de Emissão de Metano	45
3.3.2	Taxa de Emissão de Óxido Nitroso.....	47
3.3.3	Emissões Acumuladas de Metano e Óxido Nitroso	48
3.3.4	Temperatura do Solo e Porosidade Preenchida com Água	49
3.4	CONCLUSÕES.....	51
4	4 CAPÍTULO IV: EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO E METANO DOS DEJETOS DE OVINOS DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO A PASTO NO SUL DO BRASIL	53
	RESUMO	53
	ABSTRACT	54
4.1	INTRODUÇÃO.....	55
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	56
4.2.1	Condições Experimentais	56
4.2.2	Delineamento Experimental.....	57
4.2.3	Animais	58
4.2.4	Coleta e Quantificação dos Dejetos.....	59
4.2.5	Características dos Dejetos	59
4.2.6	Emissão de Metano e Óxido Nitroso.....	60
4.2.7	Fator de Emissão dos Dejetos	62
4.2.8	Análise Estatística.....	63
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.3.1	Fluxo de Metano das Fezes.....	63
4.3.2	Fluxo de Óxido Nitroso das Fezes e Urina.....	64
4.3.3	Fator de Emissão.....	66
4.3.4	Temperatura do Solo e Porosidade Preenchida com Água	66
4.4	CONCLUSÕES.....	69
5	CAPÍTULO V: ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DE UM LATOSSOLO DE DIFERENTES SISTEMAS PRODUÇÃO DE OVINOS EM PASTAGEM MISTA	70
	RESUMO	70
	ABSTRACT	71
5.1	INTRODUÇÃO.....	71

5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	73
5.2.1	Condições Experimentais	73
5.2.2	Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo	73
5.2.2.1	Amostragem.....	73
5.2.2.2	Umidade e Densidade do Solo	74
5.2.2.3	Teor de Carbono e Nitrogênio do Solo	74
5.2.2.4	Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo	74
5.2.3	Correção para Compactação do Solo	75
5.2.4	Análise Estatística.....	76
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
5.3.1	Densidade do Solo.....	76
5.3.2	Teores de Carbono e Nitrogênio do Solo.....	77
5.3.3	Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo	79
5.4	CONCLUSÕES	81
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
	REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção animal é responsável pelas emissões de três importantes gases de efeito estufa (GEE): dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) (SAINJU et al., 2012). Em sistema de produção de ovinos em pastagem, as emissões de GEE são oriundas do solo, da fermentação ruminal dos animais, da degradação da matéria orgânica no solo (MOS), dos dejetos (fezes e urina), da respiração da planta e da adubação.

O Brasil enquanto um dos principais países produtores de alimentos, terá grande papel para suprir a demanda por alimentos nos próximos anos, em virtude do aumento da população mundial. Isto implicará no aumento da demanda por proteína animal, e, portanto, aumento na produção, isto inevitavelmente resultará em um aumento das emissões de GEE, o desafio será a busca no equilíbrio entre produtividade e impacto ambiental.

Entretanto, é válido ressaltar que os sistemas de produção a pasto, possuem potencial de sequestro de carbono atmosférico no solo, contribuindo para mitigação de GEE (HENRY; BUTLER; WIEDEMANN, 2015). Algumas práticas podem ser opções para mitigação, tais como, as mudanças do manejo alimentar (suplementação), da pastagem e adubação (DAKPO; JEANNEAUX; LATRUFFE, 2017).

Diferentes estratégias de produção animal e de alimentação podem levar a maior ou menor impacto ambiental, em vários sentidos, inclusive quanto a emissão de gases de efeito estufa. Saggarr et al. (2008) em uma revisão sobre emissões de GEE observaram que as emissões de N_2O em áreas de pastagem com ovinos na Nova Zelândia apresentam emissões anuais entre 4 e 6 kg N- $\text{N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, enquanto em áreas de produção de bovinos leiteiros as emissões são superiores, variando entre 10 e 12 kg N- $\text{N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Nesse contexto, pode-se citar que a utilização de suplementação concentrada na dieta, além de alterações na microbiota ruminal e na emissão de metano (BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012), pode promover alteração nas perdas de N urinário e fecal para o solo. Após a sua deposição na pastagem, os microrganismos presentes no solo transformam os componentes nitrogenados dos dejetos em amônio e depois em amônia, e finalmente em N_2O liberando para a atmosfera (DIJKSTRA;

OENEMA; BANNINK, 2011; DIJKSTRA et al., 2013), alterando assim o fluxo de gases dos sistemas de produção de ruminantes a pasto.

Os solos são capazes de emitir ou absorver CH_4 dependendo da atividade microbiana no solo, pelas bactérias metanogênicas anaeróbicas e metanotróficas aeróbicas (CONRAD, 1996; JONES et al., 2019). De forma geral, isto significa que em solos húmidos atuam como fonte de CH_4 atmosférico, e solos bem aerados atuam como sumidouros de CH_4 atmosférico (CIAIS et al., 2013). As atividades microbiológicas do solo resultam em emissões de N_2O (RAFIQUE et al., 2011), em que as principais fontes de N_2O são os dejetos (fezes e urina), adubação nitrogenada química e orgânica (N) e, de forma indireta, pela volatilização da amônia (NH_3) e lixiviação do N (FLECHARD et al., 2007; HYDE et al., 2016).

Áreas pastoris compreendem importantes reservatórios de C, frequentemente atuando como dreno de C atmosférico, pois a pastagem produz maior quantidade de resíduo, em relação a outras culturas agrícolas, além de pouco revolvimento do solo após a implantação da forrageira (ARAÚJO et al., 2011; BRAZ et al., 2013; NADAL-ROMERO et al., 2016).

A determinação do estoque de C do solo é importante para a avaliação do impacto do manejo da pastagem no sistema produtivo sobre o solo (SEGNINI et al., 2019). A abundância do sistema radicular das gramíneas em áreas bem manejadas pode levar a elevações dos estoques de C dos perfis do solo, mesmo nas camadas mais profundas até 1 m de profundidade (OLIVEIRA et al., 2007; BODDEY et al., 2010; BRAZ et al., 2013).

Para tanto, é importante a avaliação das principais fontes (solo e dejetos) de emissão de GEE em sistemas de produção em pastagem, bem como, dos estoques de C e N no solo, para o melhor entendimento dos impactos ambientais dos mesmos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral e Hipótese

O objetivo geral é avaliar o efeito dos sistemas de produção de ovinos a pasto sobre o fluxo de emissão do C- CH_4 e N- N_2O do solo, o Fator de Emissão (FE) de N- N_2O dos dejetos (fezes e urina), e FE do C- CH_4 a partir das fezes em cada categoria

animal (cordeiro e ovelha), bem como o estoque de carbono orgânico e nitrogênio no solo, nesses sistemas de produção.

A hipótese é de que a suplementação com concentrado dos cordeiros desmamados irá alterar o fluxo de emissão de C-CH₄ e N-N₂O no sistema produtivo a pasto. A suplementação concentrada dos cordeiros desmamados irá reduzir a ingestão de matéria seca (IMS) de forragem dos cordeiros desmamados (MOORE, 1980), isto resultará em maiores taxas de acúmulo (TAD) da pastagem, permitindo assim, uma maior carga animal (CA, kg PC.ha⁻¹), este adensamento de animais irá promover um maior compactação do solo superficialmente, criando um micro sítio de anaerobiose no solo, e portanto, em emissões superiores de CH₄ no solo, em relação ao sistema de produção de cordeiros sem desmame e suplementação, onde a dieta, é exclusivamente dependente da ingestão de forragem, o que promoverá uma maior desfolha pelos animais das forrageiras, reduzindo assim a taxa fotossintética, e que em última instância resultará em menor TAD da pastagem, reduzindo assim a CA.

Da mesma forma, a suplementação com concentrado, também deverá levar uma maior excreção de N nas fezes e urina dos animais, como observado por Huhtanen et al. (2008), aumentando assim a disponibilidade de N no solo pela adição dos dejetos, e conseqüentemente, maiores emissões de N-N₂O, e por fim, Fatores de Emissão (FE) superiores. A suplementação concentrada proteico-energético de animais a pasto, dependendo da quantidade fornecida, promove um melhor aproveitamento dos carboidratos estruturais das forrageiras ingeridas (MACHADO et al., 2010), isto pode reduzir as perdas de C-fecal, com esta redução da disponibilidade de C nas fezes, pode-se esperar uma redução das emissões de C-CH₄ associadas ao dejetos, que em última instância, resultaria em um FE inferior do C-CH₄ derivado das fezes.

No sistema de produção sem desmame, as ovelhas compreendem importante papel sobre a manutenção do dossel forrageiro, reduzindo a emissão de panículas, esta diferença é resultado do efeito da suplementação na nutrição do cordeiro (RIBEIRO et al., 2009; SILVA et al., 2012). Esta diferença no dossel forrageiro dos sistemas produtivos, pode levar a uma alteração na qualidade da MOS, e afetar a disputa entre as diferentes espécies forrageiras por nutrientes no solo (SIMIONI et al., 2014), que em última instância pode levar a alteração nos estoques de C e N a longo prazo no solo.

1.1.2 Objetivos Específicos

Quantificar as emissões anuais de metano ($C-CH_4$) e óxido nitroso ($N-N_2O$) a partir do solo nas áreas pastoris dos dois sistemas de produção, em dois ciclos de avaliação.

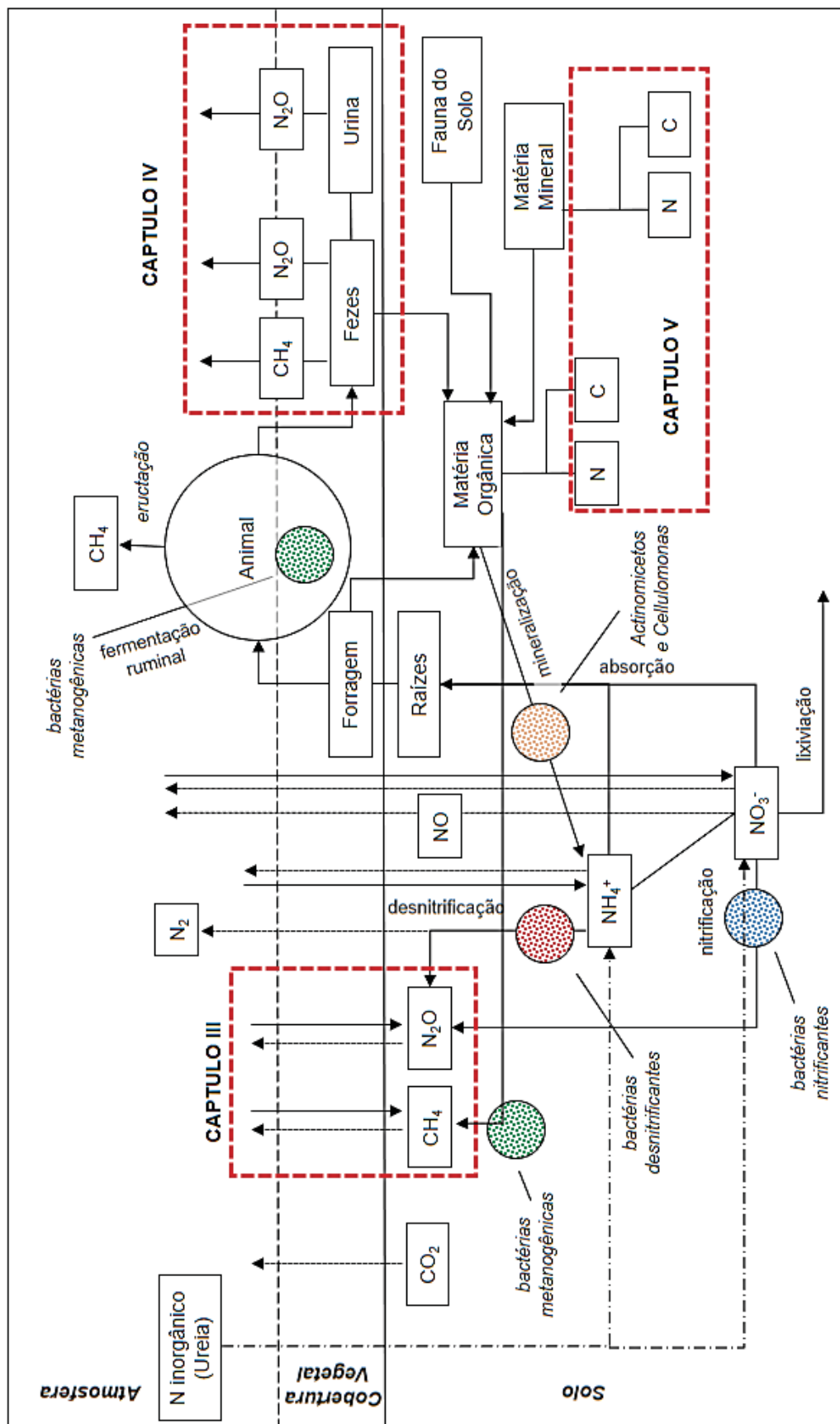
Avaliar o efeito da adição dos dejetos (fezes e urina) no solo sob a emissão de óxido nitroso ($N-N_2O$) e metano ($C-CH_4$) das diferentes categorias animais (cordeiro e ovelha) nos dois sistemas de produção, ao longo de 90 dias após a aplicação dos dejetos, em três ciclos de avaliação.

Determinar o estoque de carbono (C) e nitrogênio (N) presentes no solo nos dois sistemas de produção, após quatro anos de sucessão dos sistemas produtivos.

1.1.3 Modelo Conceitual

O modelo conceitual presente na FIGURA 1 demonstra as fontes e sumidouros de gases de efeito estufa (GEE) no sistema de produção a pasto e a composição por capítulos para a tese de doutorado. O primeiro capítulo da tese será a revisão bibliográfica sobre o tema; o CAPÍTULO III incluirá as emissões de GEE a partir do solo, ou seja, emissões de CO_2 , N_2O e CH_4 , sob sistemas de produção de ovinos em pastagens; o CAPÍTULO IV apresenta os fatores de emissão (FE) do N_2O e CH_4 dos dejetos (fezes e urina) dos animais nas diferentes categorias (cordeiro e ovelha); o CAPÍTULO V será composto pela apresentação do estoque de carbono e nitrogênio do solo nos diferentes sistemas de produção.

FIGURA 1 - MODELO CONCEITUAL DOS PROCESSOS BIOGEOQUÍMICOS ENVOLVIDOS NAS EMISSÕES METANO E ÓXIDO NITROSO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVINOS EM PASTAGEM



Fonte: Elaborado pelo Autor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVINOS EM PASTAGEM

Na região Sul do Brasil a produção de ovinos tem se concentrado em sistemas de produção em pastagem, isto se deve as condições edafoclimáticas favoráveis, onde mantém produtividade de forragem ao longo de todo o ano e custo inferior, em relação a produção confinada de animais (POLI et al., 2008; SKONIESKI et al., 2011).

Em regiões subtropicais, ocorre uma variação na disponibilidade e qualidade da forragem ao longo do ano, afetando assim o desempenho produtivo dos animais (LIMA, 2010). O desmame dos cordeiros é utilizado com o intuito de aumentar as taxas de lotação, além de possibilitar a recuperação das ovelhas no período de lactação, para retornar à reprodução (SILVA, 2010). Por outro lado, a presença da ovelha apresenta efeitos positivos sobre o desempenho produtivo dos cordeiros, mesmo sem suplementação (*creep feeding*) (RIBEIRO et al., 2009).

Para tanto, o Laboratório de Pesquisa e Produção de Ovinos e Caprinos (LAPOC) avaliou diversos sistemas de produção de ovinos em pastagem, sob os aspectos produtivos e econômicos, dos mesmos. Sendo avaliados os efeitos do desmame dos cordeiros, bem como a produção do mesmo sem o desmame, mantendo-se o cordeiro lactente ao pé da ovelha. Bem como, a utilização ou não de suplementação dos cordeiros. Sendo realizados em pastagem de Tifton-85 (*Cynodon* spp. cv. Tifton 85) com semeadura direta no inverno de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) com elevada oferta de forragem, entre 120 e 160 g MS.PC⁻¹.dia⁻¹. Os sistemas de produção de cordeiros avaliados no LAPOC se encontram descritos na FIGURA 2.

A produção de cordeiros desmamados (45 e 60 dias de vida) em regime de confinamento, embora tenha apresentado resultados satisfatórios em termos de desempenho produtivo, com ganho de peso diário acima de 300 g.d⁻¹, e qualidade do produto (POLI et al., 2008; BARRO et al., 2009). Contudo, os resultados econômicos foram inferiores aos sistemas a pasto sem desmame dos cordeiros, apresentando um maior custo com investimento e depreciação, mas, com lucratividade inferior e taxa interna de retorno negativa (BARROS et al., 2009a; BARROS et al., 2009b).

Os cordeiros confinados lactentes, mas, com mamada controlada, onde as ovelhas foram soltas em pastagem durante o dia, apresentaram alto desempenho

produtivo, com ganho de peso acima de 400 g PC.d⁻¹, e carcaças com maior peso, sendo superior aos cordeiros desmamados e confinados (FERNANDES et al., 2014). Contudo, os altos custos de produção deste sistema de produção, tornaram 17,8% superior ao do sistema de produção dos cordeiros desmamados e confinados.

FIGURA 2 - SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS AVALIADOS NO LAPOC

Autor	Sistema	Descrição
Poli et al. (2008)	Cordeiro desmamado e terminado em confinamento	Cordeiros desmamados com aproximadamente 60 dias de vida e mantidos confinados recebendo dieta com relação volumoso:concentrado de 60:40 até o abate.
Poli et al. (2008)	Cordeiro desmamado e terminado a pasto	Cordeiros desmamados com aproximadamente 60 dias de vida e mantidos exclusivamente em pastagem até o abate.
Poli et al. (2008)	Cordeiro lactente terminado a pasto	Cordeiros não foram desmamados (lactente) e mantidos exclusivamente em pastagem com a ovelha até o abate.
Poli et al. (2008)	Cordeiro lactente terminado a pasto com acesso a <i>creep feeding</i>	Cordeiros não foram desmamados (lactente) e mantidos em pastagem com a ovelha e com acesso a 10 g suplemento.kg PC ⁻¹ .d ⁻¹ em comedouros privativos (<i>creep feeding</i>) a partir de 60 dias de vida até o abate.
Ribeiro et al. (2009)	Cordeiro desmamado precocemente e terminado em confinamento	Cordeiros desmamados precocemente com aproximadamente 40 dias de vida e mantidos confinados recebendo silagem de milho e concentrado farelado com relação volumoso:concentrado de 40:60 até o abate.
Ribeiro et al. (2009)	Cordeiro desmamado precocemente e terminado a pasto	Cordeiros desmamados precocemente com aproximadamente 40 dias de vida e mantidos exclusivamente em pastagem até o abate.
Ribeiro et al. (2009)	Cordeiro lactente terminado a pasto com acesso a <i>creep feeding</i> precocemente	Cordeiros não foram desmamados (lactente) e mantidos em pastagem com a ovelha e com acesso a 10 g suplemento.kg PC ⁻¹ .d ⁻¹ em comedouros privativos (<i>creep feeding</i>) a partir de 40 dias de vida até o abate.
Silva et al. (2011)	Cordeiro desmamado precocemente, terminado a pasto e suplementados	Cordeiros desmamados precocemente com aproximadamente 45 dias de vida e mantidos em pastagem e recebendo 20 g suplemento.kg PC ⁻¹ .d ⁻¹ até o abate.
Fernandes et al. (2011)	Cordeiro lactente terminado a pasto com acesso a <i>creep feeding</i> precocemente	Cordeiros não foram desmamados (lactente) e mantidos em pastagem com a ovelha e com acesso a 20 g suplemento.kg PC ⁻¹ .d ⁻¹ em comedouros privativos (<i>creep feeding</i>) a partir de 45 dias de vida até o abate.
Silva et al. (2012)	Cordeiro lactente terminado a pasto com acesso a <i>creep grazing</i>	Cordeiros não foram desmamados (lactente) e mantidos em pastagem com a ovelha e com acesso a piquete privativos (<i>creep grazing</i>) de trevo branco com consumo <i>ad libitum</i> a partir de 45 dias de vida até o abate.
Fernandes et al. (2014)	Cordeiro lactente confinado com mamada controlada	Cordeiros não foram desmamados e ao atingir 22 kg de PC a mamada foi controlada, as ovelhas foram separadas dos cordeiros todos os dias, por 6 horas (08h30 às 14h30) e mantidas em pastagem

A produção de cordeiros em sistema de produção a pasto, apresenta resultados variáveis, de desempenho produtivo e econômico. Poli et al. (2008) observaram que o ganho de peso de cordeiros desmamados e não suplementados mantidos em pastagem de tifton 85 e azevém anual foi significativa inferior aos

cordeiros que não foram desmamados. Também se observou que a suplementação dos cordeiros lactentes (não desmamados) mantidos a pasto com 10 g.kg PC⁻¹ de concentrado em *creep feeding*, não produziu efeito sobre o desempenho dos animais.

Já Barros et al. (2009b) fizeram uma avaliação do resultado econômico dos sistemas de produção de cordeiros, e observaram que a produção de cordeiros desmamados e mantidos em pastagem apresentou a menor lucratividade, sendo mais rentável a terminação de cordeiros desmamados em confinamento. Contudo, a maior lucratividade foi observada nos sistemas com cordeiros terminados em pasto sem realização do desmame, em especial no sem suplementação do cordeiro lactente.

O desempenho produtivo superior observado pelos cordeiros não desmamados (lactentes) em relação aos cordeiros desmamados e mantidos em pastagem, está associado a maior imunidade e redução na ocorrência de helmintíases nos cordeiros, o que comprometeu o ganho de peso dos cordeiros desmamados (RIBEIRO et al., 2009).

Silva et al. (2012) avaliou a utilização de *creep grazing* com trevo branco (*Trifolium repens*) para cordeiros lactentes, apresentando resultados produtivos semelhantes ao *creep feeding* (20 g.kg PC⁻¹.d⁻¹ de suplemento). Também observou que a suplementação de cordeiros desmamados com 20 g.kg PC⁻¹.d⁻¹ de suplemento propiciou um maior acúmulo de forragem, permitindo maiores taxas de lotação.

Portanto, os sistemas produção lactente (sem o desmame) de cordeiros e sem suplementação em comedouro privativo (*creep feeding*), e com desmame dos cordeiros mas com suplementação de 20 g.kg PC⁻¹.d⁻¹, dentro os sistemas de produção avaliados, foram os que apresentaram os melhores resultados produtivos (ganho individual e por área) e econômicos (lucratividade), com isso, justifica-se a escolha para o estudo.

2.2 GASES DE EFEITO ESTUFA

A mais de um século, Arrhenius (1896) já teorizou que a emissão excessiva de CO₂ antrópica, chegaria a um nível de acúmulo que poderia elevar a opacidade da atmosfera o suficiente para aquecer a Terra.

Os gases de efeito estufa (GEE) possuem a capacidade de bloquear o processo de reflexão de parte da radiação infravermelha incidente no globo, mantendo assim está radiação na atmosfera, e como consequência, ocorre um aumento da

temperatura (BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 1994). Isto ocorre, pois, os raios solares infravermelhos são absorvidos pelos gases e são aquecidos, reemitindo esta radiação em baixa frequência (MOSS et al., 2000).

Os principais GEE responsáveis por esse processo são o dióxido de carbono (CO_2), ozônio (O_3), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), juntamente com o vapor d'água (H_2O) e os aerossóis (BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 1999; OLIVEIRA; CARAMORI; GRODZKI, 2007). O aquecimento depende das concentrações destes gases na atmosfera e de suas propriedades radioativas (BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 1999).

A concentração de CO_2 atmosférico aumentou de 275 ppmv para 430 ppmv em 2011 em comparação aos níveis pré-industriais (HOFFERT et al., 2002; IPCC, 2014). Em vista das alterações significativas das concentrações de GEE na atmosfera, as Organizações das Nações Unidas criaram o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), com o intuito de fornecer aos formuladores de políticas avaliações científicas regulares sobre mudanças climáticas, suas implicações e possíveis riscos futuros, bem como para propor opções de adaptação e mitigação, elaborando relatórios com o estado do conhecimento. O Brasil por sua vez, instituiu a Política Nacional sobre Mudança no Clima (PNMC), conforme a Lei nº 12.187/2009, a fim de cumprir o compromisso nacional voluntário para redução das emissões de GEE até o ano de 2020, que visa reduzir as emissões nacionais entre 36,1 e 38,9% em relação à produção projetada para este ano (BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2014).

Os GEE apresentam capacidades distintas de radiação, e para poder compará-los e somá-los, utiliza-se a métrica usual do Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential - GWP). Para isto será utilizado o CO_2 como referência e representado pela sigla " $\text{CO}_{2\text{-eq}}$ ", onde o metano apresenta um GWP de 36 e o óxido nitroso de 295 para um horizonte de 100 anos (IPCC, 2014).

O CH_4 e o N_2O são emitidos para a atmosfera pela decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), pela combustão e pela respiração animal, microbiana e vegetal. Sendo assim, atividades antropogênicas no uso do solo, como agricultura em diversos biomas, e mudanças no uso do solo e em sua cobertura, como a conversão de terras florestais em pastagens e lavouras, são responsáveis pela alteração do fluxo natural dos GEE (IPCC, 2014).

Segundo o último relatório do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2017), os principais setores responsáveis pela emissão de GEE no Brasil são energia (33%), agropecuária (31%) e uso de terra e floresta (24%), correspondendo a 88% da emissão de CO₂-eq anual.

2.2.1 Metano

O metano (CH₄) é um composto orgânico gasoso, que tem um átomo de carbono ligado covalentemente a quatro átomos de hidrogênio.

No solo, o CH₄ é produzido a partir da metanogênese sobre condições anaeróbicas e é consumido por microrganismos metanotróficos que utilizam O₂ e CH₄ no metabolismo (BAUER et al., 2008). As bactérias responsáveis pela metanogênese são pertencentes aos gêneros *Archea*, encontradas no solo, no complexo rúmen-retículo e no intestino (*Methanobrevibacter* spp., *Methanomicrobium* spp., *Methanosarcina* spp., *Methanobacterium* spp., etc.) dos ruminantes.

A retenção de água no solo e sítios de anaerobiose, oriundos de pisoteio e/ou dejetos, afetam as emissões de CH₄ pelo solo (CERRI et al., 2009). Cardoso et al. (2001) observaram sazonalidade nas taxas de oxidação em solos com pastagens, com redução da mesma em períodos de maior precipitação. Como a microflora do solo vive em estreita associação com substratos orgânicos, uma resposta semelhante a oxidação do CH₄ ficaria limitada ao transporte de oxigênio, sendo influenciado pela porosidade do solo (KING; ADAMSEN, 1992).

Em trabalho realizado por Cardoso et al. (2001), os autores apresentam redução média de 34,9% na taxa de oxidação do CH₄ em área de pastagem mista nos meses de maior precipitação. Da mesma forma, Verchot et al. (2000) obtiveram valores médios de emissão de 0,57 mg C-CH₄.m⁻².h⁻¹ durante a estação de chuvas e de -0,75 mg C-CH₄.m⁻².h⁻¹ na estação seca, em área de pastagem de *Urochloa brizantha*.

Em solos aerados, ocorrem formação de microsítios de aerobiose; a presença de O₂ no solo impede a ação da enzima necessária para iniciar a oxidação do CH₄ pelas bactérias metanogênicas, resultando na absorção de CH₄ (KNOWLES, 1993).

2.2.2 Óxido Nitroso

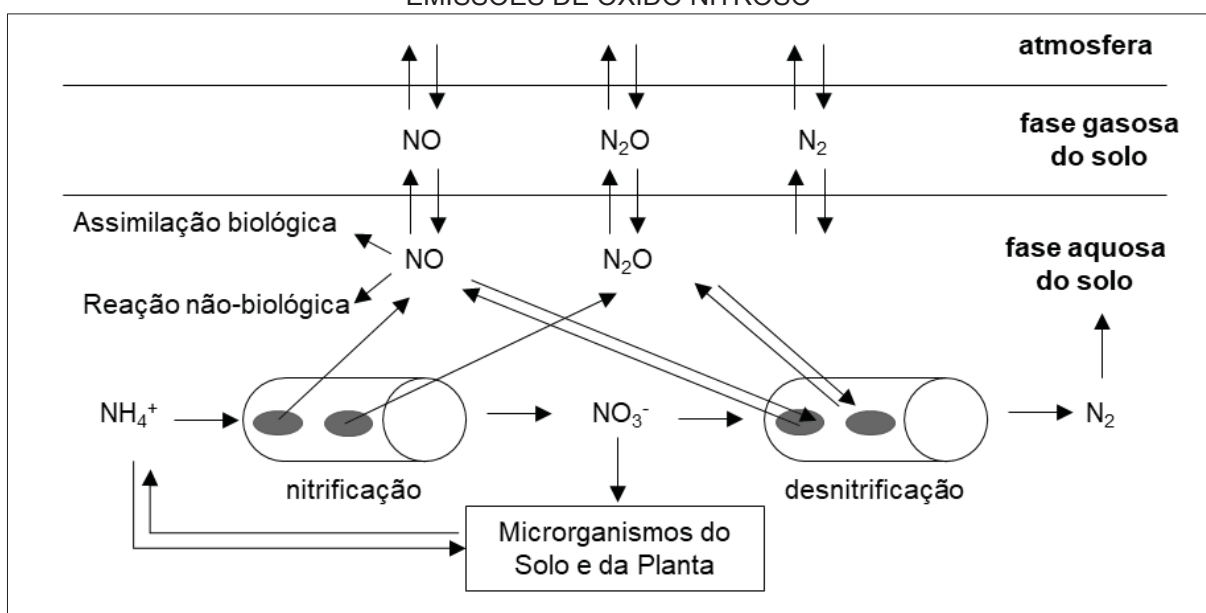
O óxido nitroso ou monóxido de dinitrogênio (N_2O) é apresentado na forma de um gás, composto de duas partes de nitrogênio (N) e uma de oxigênio (O) unidas por ligação tripla covalente e uma ligação dativa.

As emissões de óxido nitroso (N_2O) são resultado das ações dos microrganismos nitrificadores (*Nitrossomonas* e *Nitrobacter*) e desnitrificadores (*Pseudomonas*) presentes no solo sobre o nitrogênio (N) mineral. As emissões de N_2O em sistemas de produção animal se originam da dinâmica do N do solo, principalmente pela adição de fertilizantes nitrogenados e pela deposição dos dejetos, fezes e urina dos animais (GRANLI; BØCKMAN, 1994; MOSIER et al., 2004).

Segundo Firestone e Davidson (1989), as emissões de N_2O e monóxido de nitrogênio (NO) são reguladas pela taxa de ciclagem do N no solo, ou seja, depende das taxas de oxidação de amônio (NH_4^+) pelas bactérias nitrificantes, e redução de nitrato (NO_3^-) pelas bactérias desnitrificantes presentes no solo (FIGURA 1, p. **Error! Bookmark not defined.**).

Os principais fatores que afetam a taxa de emissão do N_2O pelo solo são a existência de nitrato (NO_3^-) e o amônio (NH_4^+) no solo, a porosidade do solo, a temperatura, a umidade, pH e a disponibilidade de C lábil (KLEIN et al., 2010).

FIGURA 3 - MODELO CONCEITUAL DOS PROCESSOS BIOQUÍMICOS NO SOLO PARA AS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO



FONTE: Adaptado de Firestone e Davidson (1989).

A adubação orgânica e inorgânica é um importante fontes de nitrogênio em sistemas de produção a pasto, sendo utilizado nos processos de nitrificação ou desnitrificação no solo, onde a disponibilidade do N será determinante na emissão de N_2O (ALARI, 2016). As relações entre adubação e emissões de N_2O foram observadas por Bouwan (1996) que determinou uma relação de 1,25 kg de N- N_2O são emitidos para a atmosfera a cada 100 kg N aplicado no solo, independente do fertilizante utilizado, este valor obtido pelo autor é utilizado pelo IPCC (2007), sendo estimado em 1%.

2.3 FATORES QUE AFETAM AS EMISSÕES DE METANO E ÓXIDO NITROSO

2.3.1 Temperatura, Umidade e Precipitação

A temperatura do solo é um dos principais fatores que influenciam nas emissões dos GEE. O aumento da temperatura do solo leva ao aumento da atividade microbiana do solo, induzindo a maiores emissões e a taxas mais altas de respiração do solo (SCHINDLBACHER et al., 2004). Contudo, o efeito da temperatura sobre a atividade microbiana pode ser restrito pela disponibilidade de água no solo (FOWLER et al., 2009).

Segundo Abdalla et al. (2009), as emissões de N_2O aumentam até aproximadamente 37°C, acima disto, o processo de desnitrificação do NO_3^- diminui, e consequentemente as emissões de N_2O . A temperatura pode explicar a variação nas emissões do N_2O em 86% (SCHINDLBACHER et al., 2004). Isto se deve ao fato de que as bactérias nitrificantes necessitam de oxigênio (O_2) que estão presente nos poros do solo, em situações de baixa umidade, ou seja, baixa porosidade preenchida com água (PPA), ocorre aumento nas emissões por nitrificação, com 20% de PPA (LUDWIG et al., 2001). Entretanto, quando a PPA chega a 10%, as emissões de óxido nitroso são reduzidas, pois há falta de nutrientes nesta situação (BRÜMMER et al., 2008).

Segundo Sponseller (2007), as emissões de GEE aumentam rapidamente e duram alguns minutos ou horas após o início da precipitação, mas retornam aos níveis normais entre 5 e 30 h após a precipitação. A disponibilização de água no solo, juntamente com a disponibilidade de MOS, impulsiona a atividade da microfauna do solo na decomposição (LUDWIG et al., 2001).

Solos de sistemas pastoris emitem GEE de forma direta e indireta, e são influenciados por múltiplos fatores, de forma direta com a aplicação de fertilizantes, matéria orgânica e mineralização da matéria orgânica, e de forma indireta com sequestro de C e N (SEIJAN et al., 2016).

A influência da espécie animal presente nas áreas de pastagens afeta as emissões, principalmente de N_2O do solo. Em uma revisão feita por Saggart et al. (2008) descrevem que, em áreas de pastagens com ovinos, as emissões anuais de $N-N_2O$ foram inferiores às áreas de pastagens com bovinos de leite, correspondendo de 3,7 a 4,5 e 9,6 a 11,7 kg $N-N_2O.ha^{-1}.ano^{-1}$, respectivamente. Entretanto, as emissões de CH_4 apresentaram efeito oposto, com maiores emissões observadas em áreas pastoris com ovinos do que com bovinos. Dados de Choudhary et al. (2002) mostram taxas de emissões de N_2O quatro vezes menores em áreas pastoris de ovinos do que em área de plantio convencional e direto de milho (*Zea mays* L.) no verão e aveia (*Avena sativa* L.) no inverno.

2.4 EMISSÕES A PARTIR DOS DEJETOS

Em sistemas pastoris, as taxas de emissão de N_2O estão altamente relacionadas à deposição de dejetos e à concentração de N presente nos mesmos (GROENIGEN et al., 2005).

Segundo Klein et al. (2003), o fator de emissão (FE) de $N-N_2O$ é a razão entre quantidade de N perdida na forma de N_2O e a quantidade de N total adicionada ao solo via dejetos. Para tanto, as concentrações de N fecal e urinário dependem principalmente da ingestão de N pelo animal; portanto, a oferta de N na dieta afetará as perdas de N (HUHTANEN et al., 2008).

A curto prazo, as perdas de N-urinário são mais sensíveis que de N-fecal, pois a maior parte do N-urinário está na forma de ureia, que se hidrolisa rapidamente, chegando a totalidade entre 1 e 2 dias pós-excreção (BUSSINK; OENEMA, 1998). A ação de bactérias nitrificantes e desnitrificantes tornam a urina uma importante fonte de N_2O .

O IPCC (2002) estabelece valor para o fator de emissão (FE) de 1% para ovinos para o N proveniente dos dejetos (fezes e urina) depositados no solo durante o pastejo. É importante ressaltar que o FE do IPCC não leva em consideração variáveis importantes para este valor, tais como clima e solo, que afetam as emissões

de N_2O . Savian (2017) avaliando as emissões de N_2O e CH_4 das fezes de ovinos encontrou fatores de emissão 50-85% inferiores aos descritos no IPCC (2002), em diferentes sistemas de pastejo, no estado do Rio Grande do Sul. Isto, demonstrando a necessidade de maiores avaliações das emissões de GEE no Brasil sob sistemas de produção de ovinos mantidos a pasto.

2.5 ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO

As pastagens possuem potencial para sequestrar o dióxido de carbono (CO_2) atmosférico como carbono (C) no solo e, portanto, podem contribuir para a mitigação de GEE (REID et al., 2004; ALLARD et al., 2007). Contudo, o acúmulo de C em sistemas pastoris é influenciado por muitos fatores, tais como, intensidade de pastejo, espécie animal e espécies de forragem (McSHERRY; RITCHIE, 2013).

O ciclo do C no solo é bastante complexo, sendo ligado com a biosfera, e influenciado pelos microrganismos do solo (PULROLNIK, 2009). Em sistemas pastoris os resíduos da forragem são as fontes primárias de C, que fornecem substrato para a biota do solo. O produto da decomposição microbiana da MO do solo e a mineralização do elemento, anteriormente orgânico para a forma inorgânica. Os manejos empregados no sistema produtivo afetam a entrada de MO e a decomposição da mesma no solo, em função da produção de resíduos e fertilização (SILVA; RESCK, 1997).

A MO do solo é composta principalmente pelo material senescente da forragem, resíduos das plantas e microrganismos do solo (CHRISTENSEN, 2000). Portanto, a quantidade da MO será dependente principalmente da produtividade da forrageira e da taxa de decomposição desta, que por fim, determinarão os estoques de C e N do solo.

A quantidade de C em áreas de pastagens bem manejadas é superior à de áreas degradadas, quando comparados solos de mesma textura e estrutura. Portanto, áreas com pastagens são factíveis de mitigar os GEE. Após a mudança de uso na terra, espera-se que o C do solo entre em novo equilíbrio, mas a maior eficiência de produção de carne e leite, e de outros produtos, implica em emissões de CH_4 relativamente menores (CERRI et al., 2010). Quando a respiração pelos microrganismos do solo e pelas raízes da biomassa é superior a deposição de MO ocorre perda de C no solo (BUSTAMANTE et al., 2006).

Russell et al. (2013) sugerem que o pastejo em alta intensidade por um curto período promoveu aumento da MOS e a diversidade na composição de espécies forrageiras. No entanto, a pressão de pastejo alta, ao ponto de remover a vegetação da superfície, pode resultar em degradação do solo (McSHERRY; RITCHIE, 2013).

Contudo, as alterações de estoque de carbono em situações de média a baixa intensidade de pastejo em regiões com baixas temperaturas e umidade, levam a tendência de aumento dos teores de C orgânico no solo; portanto, o clima e intensidade de pastejo devem ser levados em consideração para as estratégias de manejo do solo para mitigação (ABDALLA et al., 2018).

Fujisaki et al. (2015) avaliaram o estoque de carbono de áreas de pastagem, floresta e lavoura em vários países da América do Sul, incluindo o Brasil e observaram que áreas pastoris apresentaram estoque de carbono ligeiramente superior ao de florestas (+6,8%), que por sua vez era superior à de áreas de lavoura (8,5% menor do que floresta).

3 CAPÍTULO III: FLUXO DE METANO E ÓXIDO NITROSO DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVINOS EM PASTAGEM MISTA NO SUL DO BRASIL

RESUMO

A produção animal contribui direta e indiretamente para o aquecimento global por meio das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) pelo solo em sistemas pastoris. O presente estudo foi conduzido para avaliar o efeito do sistema de produção de ovinos em pastagem sobre os fluxos de emissão de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) do solo. O presente estudo foi realizado no Laboratório de Pesquisa e Produção de Ovinos e Caprino (LAPOC), em Pinhais (Paraná, Brasil), entre 2015 e 2016. A área experimental era de Latossolo vermelho amarelo com pastagem mista, com predominância de Tifton 85 (*Cynodon dactylon* cv. Tifton 85), *Paspalum* (*Paspalum* spp.) e Quicuío (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.), com semeadura direta de Aveia Preta (*Avena strigosa* cv. Embrapa 139) e Azevém (*Lolium multiflorum* Lam. cv. BRS Ponteiro) no inverno. Foram avaliados dois sistemas de produção a pasto de ovinos, sendo: Sistema de Produção Lactente, sem o desmame dos cordeiros, mantidos com a sua respectiva mãe em pastagem até atingir o peso de abate; Sistema de Produção com Desmame, com desmame aos 60 dias de vida do cordeiro, mantidos em pastagem e recebendo suplementação concentrada de 20 g MS.kg PC⁻¹. O método de pastejo foi contínuo, com taxa de lotação variável e oferta de forragem de 160 g MS.kg PC⁻¹.d⁻¹. Foram utilizadas câmaras de retenção de gases estáticas, realizando-se coletas entre as 08h30 e 10h30, sendo a frequência de coleta variável. Sendo determinadas as concentrações de CH_4 e N_2O por cromatografia gasosa, e calculadas as taxas de emissão dos mesmos. Também foi aferida a temperatura do solo e determinada a porosidade preenchida com água do solo no momento da coleta. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e dois tratamentos, os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância pelo teste Tukey ao nível de significância de 10%. O fluxo de CH_4 o solo alternou como dreno e fonte desse gás ao longo das avaliações, variando entre 252,2 a -220,4 mg C- CH_4 .m⁻².h⁻¹, apresentando picos isolados de emissão após a aplicação de N-inorgânico, as emissões acumuladas de CH_4 no sistema com desmame foram de -2,97 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.ano⁻¹, em 2016, sendo inferior ao sistema lactente com 7,6 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.ano⁻¹, mas, não diferiram em 2015 ($P>0,10$). No que se refere ao N_2O , os fluxos foram baixos na maior parte do período, variando de 703,7 a -66,4 µg N- N_2O .m⁻².h⁻¹, tendo picos de emissão logo após a aplicação do N mineral. Contudo, a emissão acumulada do gás não foi afetada pelo sistema de produção tendo média de 147,7 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.ano⁻¹. A temperatura do solo variou entre 23,4°C no verão a 11,1°C no inverno e a PPA do solo variou de 5,8% até 54,6%. Conclui-se que os sistemas de produção não afetam os fluxos dos GEE na presente condição de clima e solo.

Palavras-chave: Desnitrificação. Metanotrofia. Mitigação. Produção Animal.

METHANE AND NITROUS OXIDE FLUXES IN SOIL OF DIFFERENT SYSTEMS OF SHEEP PRODUCTION IN MIXED PASTURE IN THE SOUTH OF BRAZIL

ABSTRACT

Animal production contributes directly and indirectly to global warming through greenhouse gas emissions (GHG) by soil in pastoral systems. The present study was conducted to evaluate the effect of the pasture sheep production system on the emission fluxes of methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) from the soil. The present study was carried out in the Laboratory of Research and Production of Sheep and Goats (LAPOC), in Pinhais (Paraná, Brazil), between 2015 and 2016. The experimental area was of Oxisol with mixed pasture, predominantly Tifton 85 (*Cynodon dactylon* cv Tifton 85), paspalum (*Paspalum* spp.), and kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov.), with direct sowing of black oat (*Avena strigosa* cv Embrapa 139) and rygrass (*Lolium multiflorum* Lam. BRS Ponteiro) in winter. Two systems of sheep grazing production were evaluated: Suckling Production System, without weaning of lambs, kept with their respective mother on pasture until reaching slaughter weight; Weaning Production System, weaned at 60 days of lamb life, kept on pasture and receiving a concentrated supplementation of 20 g DM.kg BW⁻¹. The grazing method was continuous, with variable stocking rate and forage supply of 160 g DM.kg BW⁻¹.day⁻¹. Static gas retention chambers were used, with sampling between 08h30 and 10h30, with variable collection frequency. The concentrations of CH₄ and N₂O were determined by gas chromatography, and emission rates were calculated. It was also verified the soil temperature and determined the porosity filled with soil water at the time of collection. A completely randomized design with four replicates and two treatments was used, the data obtained were analyzed by Tukey test at a significance level of 10%. The soil CH₄ flow alternated as a drain and source of this gas throughout the evaluations, ranging from 252.2 to -220.4 mg C-CH₄.m⁻².h⁻¹, showing isolated emission peaks after the application of N-inorganic, the accumulated emissions of CH₄ in the weaned system were -2.97 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.year⁻¹, in 2016, being lower than the suckling system with 7.6 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.year⁻¹, but did not differ in 2015 (P> 0.10). As regards N₂O, fluxes were low throughout most of the period, ranging from 703.7 to -66.4 µg N-N₂O.m⁻².h⁻¹, having emission peaks shortly after the application of N mineral. However, the cumulative gas emission was not affected by the production system having a mean of 147.7 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.year⁻¹. Soil temperature ranged from 23.4°C in the summer to 11.1°C in winter and the soil WFPS ranged from 5.8% to 54.6%. It is concluded that the production systems do not affect GHG fluxes in the present climate and soil conditions.

Keywords: Animal Production. Denitrification. Metanotrophy. Mitigation.

3.1 INTRODUÇÃO

Segundo a *United Nations* (UN, 2017) as estimativas indicam que a população mundial em 2050 seja de 9,7 bilhões e isto representa aumento de 28% em relação a população atual. Além disto, com o aumento da qualidade de vida (poder econômico) igualmente deve haver maior procura por produtos alimentícios.

As práticas de produção animal podem resultar em emissões de gases de efeito estufa (GEE): principalmente de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). A crescente preocupação com as mudanças climáticas provocadas pelos GEE, levam a necessidade de melhorar a eficiência dos sistemas de produção reduzindo as emissões por quilo de produto, para manter o equilíbrio entre produtividade e preservação ambiental (WRIGHT et al., 2012).

Práticas de manejo da pastagem podem levar a um acúmulo de matéria orgânica (MO), compactação do solo, distribuição de resíduos e fertilização, e afetam as propriedades do solo, tais como umidade, temperatura, pH e aeração (CHIAVEGATO et al., 2015). Essas mudanças podem ser favoráveis ou desfavoráveis à microbiota atual do solo, responsável pela produção e consumo desses GEEs (CHEN et al., 2008).

O aumento das emissões de GEE nos sistemas pastoris está relacionado ao aumento da produtividade, tanto de forragens quanto de animais, sendo afetados principalmente pelo clima, solo, paisagem, espécies de gramíneas e adubação (KLEIN; PIÑARES-PATINO; WAGHORN, 2008). Ambientes pastoris frequentemente retêm CH_4 ou as emissões líquidas são baixas, exceto em áreas alagadas e/ou inundadas sazonalmente. As emissões de N_2O são determinadas principalmente pela disponibilidade de N no solo, e controladas pelos processos de nitrificação e desnitrificação no solo pelas bactérias presentes (BUTTERBACH-BAHL et al., 2013). A maioria das publicações sobre GEE se concentra em ambientes inundados (cultivo de arroz e zonas úmidas) e com acúmulo de esterco, com quantidade limitada de publicações em ambientes pastoris.

O presente estudo foi conduzido para avaliar o efeito do sistema de produção de ovinos em pastagem sobre os fluxos de emissão de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) do solo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Condições Experimentais

O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) do Setor de Ciências Agrárias (SCA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) sobre o protocolo nº007/2014.

Este estudo foi conduzido, entre dezembro de 2014 e dezembro de 2016, no Laboratório de Produção e Pesquisa de Ovinos e Caprinos (LAPOC) na Fazenda Experimental do Cangüiri da Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizado no município de Pinhais, Brasil (25°23'22"S, 49°08'24"W). A área experimental é formada de Latossolo vermelho amarelo, de textura argilosa, com relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2018). As composições física e química do solo estão apresentadas na TABELA 1, as análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos da UFPR.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DO LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DA ÁREA EXPERIMENTAL COM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA. PINHAIS - PR

Variável	Profundidade do Solo		
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
pH (CaCl ₂)	5,15	5,35	5,15
Densidade do solo (kg solo dm ⁻³)	0,88	1,13	1,06
Capacidade de Troca de Cátions (cmol _c dm ⁻³)*	15,13	14,75	13,63
Carbono Orgânico do Solo (g C kg solo ⁻¹)	47,06	30,23	20,71
Nitrogênio Total (g N kg solo ⁻¹)	3,73	2,06	1,25
Teor de Argila (g.kg solo ⁻¹)	550	613	600
Teor de Silte (g.kg solo ⁻¹)	138	125	113
Teor de Areia (g.kg solo ⁻¹)	313	263	288

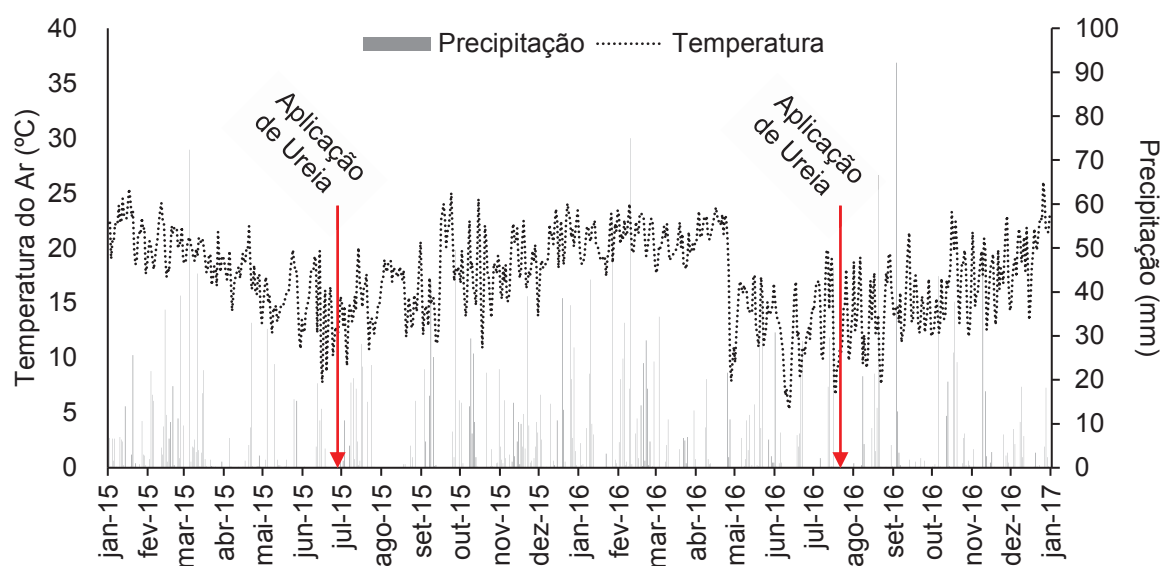
NOTA: *CTC em pH 7,0. Análises realizadas entre fevereiro - outubro de 2015.

A região é caracterizada pelo clima temperado húmido (Cfb), conforme a classificação de Köppen-Geiger (SIMEPAR, 2015). No GRÁFICO 1 são apresentadas a temperatura média diária (°C), e a precipitação pluviométrica (mm) ao longo do período experimental, dados obtidos da estação meteorológica automática em Pinhais (PR), pertencente ao SIMEPAR localizado a 980m da área experimental.

3.2.2 Delineamento Experimental

Foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com dois tratamentos (sistemas de produção) e quatro repetições por tratamento (piquetes de pastagem). Os tratamentos foram dois sistemas de produção de ovinos de pastagem: (**Lactente**) sistema de terminação de cordeiros sem desmame, mantido com a respectiva mãe em pastagem mista até atingir o peso de abate aos 40 kg; (**Desmame**) sistema de terminação de cordeiros desmamados aos 60 dias, e mantidos em pastagem recebendo suplementação concentrada farelada diária de 20 g MS.kg PC⁻¹. A composição química do suplemento fornecido encontra-se na TABELA 2 (p. 58); e ovelhas não lactantes, mães dos cordeiros desmamados, que foram mantidas em piquetes de pastagens separados dos mesmos.

GRÁFICO 1 - TEMPERATURA MÉDIA DO AR E PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DIÁRIAS ENTRE JANEIRO DE 2015 E JANEIRO DE 2017. PINHAIS - PR



FONTE: Dados cedidos pelo SIMEPAR (jul. 2018).

3.2.3 Manejo da Pastagem

A área utilizada foi de aproximadamente 4,8 ha, composta por quatro piquetes de 0,6 ha cada para o sistema de produção **lactente** (cordeiros lactentes + ovelhas lactantes) e oito piquetes de 0,3 ha cada para o sistema de produção com **desmame**, sendo, quatro para os cordeiros desmamados e suplementados, e quatro para as ovelhas não lactantes. Cada piquete continha três animais *testers* por categoria

(cordeiro e ovelha) dependendo do sistema, além de animais reguladores para ajuste de carga animal.

O experimento foi conduzido em área de pastagem mista, com predomínio de Tifton-85 (*Cynodon dactylon* cv. Tifton 85), *Paspalum* (*Paspalum* spp.), Capim Quicuí (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov). Além dessas, outras espécies de menor significância estavam presentes: *Cyperus rotundus* L., *Rumex obtusifolius* L., *Hyptis atrorubens* Poit., *Artemisia verlotorum* L., *Trifolium repens*, *Taraxacum* spp., *Richardia brasiliensis*, *Ipomoea acuminata*. Com semeadura direta de aveia preta (*Avena strigosa* Scrib. cv. Embrapa 139) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam. cv. BRS Ponteiro) em plantio direto em linhas, utilizando 120 kg de sementes de aveia preta e 40 kg de sementes de azevém na segunda quinzena de maio de cada ano.

O método de pastejo foi contínuo com lotação variável, mantendo um número fixo de animais *testers* e um número variável de reguladores, a fim de manter a taxa de lotação ajustada, conforme método descrito por Mott e Lucas (1952). Os ajustes da lotação foram realizados a cada 14 dias, com o objetivo de manter a oferta de massa de forragem em 160 g MS.kg PC⁻¹.d⁻¹, utilizando animais reguladores (cordeiros e/ou ovelhas, dependendo do sistema).

Foi realizada uma aplicação mecanizada de 90 kg N.ha⁻¹ na forma de ureia no dia 1 de julho de 2015 em toda a área experimental. Uma segunda aplicação foi realizada manualmente, de 45 kg N.ha⁻¹ na forma de ureia, no dia 25 de agosto de 2016.

3.2.4 Metano e Óxido Nitroso

3.2.4.1 Coleta

As emissões dos GEE foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Mosier (1989), na qual um conjunto de câmaras estáticas de retenção de gás, com bases metálicas, seringas de polipropileno de 10 mL e termômetros foram utilizadas para coletar as amostras de gases.

As bases utilizadas foram aros de ferro com 33 cm de diâmetro e 5 cm de profundidade no solo e 5 cm de altura, fixados no solo nos respectivos piquetes. As câmaras estáticas de retenção de gás eram feitas com balde de poliuretano (380 mm de altura x 336,5 mm de diâmetro), com vedação de borracha de SBR, com um

ventilador (*cooler* 1,3A; 12V) acoplado no centro do topo da câmara para homogeneização do ar interno e revestido com manta térmica de 2 mm para reduzir as variações da temperatura do ar no interior da câmara. As câmaras foram alocadas às bases metálicas apenas em momentos de coleta.

Cada piquete (repetição) possuía duas bases, exceto durante o período de avaliação dos dejetos (novembro - fevereiro), onde o sistema com desmame possuía apenas uma base (sem dejetos) por piquete.

As coletas ocorreram em dias específicos, sempre a partir das 08h30, conforme preconizado por Costa et al. (2008), com coleta simultânea, repetição a repetição, em toda a área experimental. As câmaras de retenção eram alocadas às bases e imediatamente era realizada a primeira coleta de amostra de ar, equivalente ao tempo inicial (tempo 0'), sendo aferidas e registradas a temperatura da câmara (°C) nesse mesmo momento. Após 15 minutos, a segunda coleta (tempo 15') era realizada, após homogeneização prévia do ar na câmara, conectando o refrigerador a uma bateria por 30 segundos e registrando a temperatura novamente. Finalmente, era feito pela terceira vez, repetindo o mesmo processo 30 minutos após a colocação da câmara (tempo 30'), sendo aferida a temperatura da mesma.

3.2.4.2 Análise cromatográfica dos gases

As amostras de ar foram transferidas das seringas utilizadas a campo para frascos de vidro Exetainer® de 12 ml (Labco Ltda., High Wycombe, Reino Unido), pré-preparados a vácuo com auxílio de agulha descartável 26G (0,45x13 mm). As concentrações dos gases (CH₄ e N₂O) foram determinadas por cromatografia gasosa em cromatógrafo modelo GC-2014 (Shimadzu®, Tóquio, Japão) equipado com um detector de ionização por chama (FID), para avaliação de CH₄ e detector de captura de elétrons (ECD), para avaliações de N₂O. As análises foram realizadas no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em Porto Alegre (RS).

3.2.4.3 Taxa de Emissão e Fluxo dos Gases

Para a determinação da taxa de emissão de gases, as concentrações medidas das amostras em cada tempo de coleta foram convertidas em massa unitária

por área. Para esta conversão, foi utilizada a equação da lei dos gases ideais, segundo Parkin e Venterea (2010):

$$PV = nRT \quad (\text{EQUAÇÃO 1})$$

Em que, P é a pressão (considerado 1 atm), V é o volume do gás dentro da câmara de retenção (31,05 L), n é o número de mols em massa molar equivalente do C e N (se $[CO_2]$ ou $[CH_4] \times 12 \text{ g C mol}^{-1}$; $[N_2O] \times 28 \text{ g N mol}^{-1}$), T é a temperatura da câmara interna (Kelvin) medida durante a avaliação, R é a constante universal dos gases perfeitos ($0,08205 \text{ atm L}^{-1} \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$).

As taxas de emissão foram calculadas pelo coeficiente do modelo linear ajustado para descrever a variação da concentração de gás dentro da câmara.

A emissão acumulada dos gases (C-CH₄ e N-N₂O) anual foi calculada com base na equação a seguir:

$$f = \sum \left[\frac{(k_1 + k_i)}{2} \times \text{período} \right] \quad (\text{EQUAÇÃO 2})$$

Em que, f é o fluxo acumulado no período (kg C-CH₄ ha⁻¹ ano⁻¹ ou mg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹); Σ é o somatório das emissões acumuladas em cada intervalo de avaliação; k_1 e k_i são as taxas de emissão de cada gás (mg C-CH₄ ha⁻¹ h⁻¹ mg N-N₂O ha⁻¹ h⁻¹) nos dias i e 1 (inicial e final); e *período* se refere ao intervalo de dias entre as avaliações (dias).

Para o fluxo acumulado anual, as taxas de emissão dos gases foram ajustadas para o dia 1 de janeiro e 31 de dezembro de cada ano, visando abranger o ano por completo, conforme a seguinte equação:

$$k_{ajustado} = k_i + \left[\frac{(k_1 - k_i)}{d} \times d_{ajustado} \right] \quad (\text{EQUAÇÃO 3})$$

Em que, $k_{ajustada}$ é a taxa de emissão ajustada para a data estimada (mg.ha⁻¹.h⁻¹); k_i é a taxa de emissão da 1ª avaliação (mg.ha⁻¹.h⁻¹); k_1 é a taxa de emissão da

2ª avaliação ($\text{mg.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$); d é o número de dias entre a avaliação i e a 1; e por fim, $d_{ajustado}$ é o número de dias entre a avaliação i e a data estimada.

As emissões acumuladas de N_2O e CH_4 foram convertidas para $\text{CO}_2\text{-eq}$, utilizando o fator de referência do potencial de aquecimento global (GWP) de cada gás em relação ao CO_2 conforme descrito no IPCC (2014), conforme as equações a seguir:

$$CO_{2-eq} = N_2O \times 298 \quad (\text{EQUAÇÃO 4})$$

$$CO_{2-eq} = CH_4 \times 34 \quad (\text{EQUAÇÃO 5})$$

Em que, CO_{2-eq} é a emissão do gás (metano ou óxido nitroso) em equivalente CO_2 ($\text{kg CO}_2\text{-eq.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) em função do seu GWP (34 ou 298); N_2O é a emissão acumulada de $\text{N-N}_2\text{O}$ no ano ($\text{kg N-N}_2\text{O.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), e CH_4 é a emissão acumulada de C-CH_4 no ano ($\text{kg C-CH}_4.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$).

3.2.5 Temperatura do Solo e Porosidade Preenchida com Água

A temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) foi determinada com o auxílio de termômetros tipo haste TD-100 (Icel, Manaus, Brasil) a 5 cm de profundidade, em cada coleta em todos os tempos de avaliação (0, 15 e 30 min) e de cada base, sendo considerada a temperatura média das três aferições nos três tempos.

A determinação da Porosidade Preenchida com Água (PPA) foi calculada com base na umidade gravimétrica do solo (w) em cada coleta e a densidade do solo (D_s) e de partícula (D_p de $2,65 \text{ Mg.m}^{-3}$), conforme a seguinte equação:

$$PPA = \frac{(w - D_s)}{(1 - (D_s/D_p))} \times 100 \quad (\text{EQUAÇÃO 6})$$

A umidade gravimétrica (w) foi determinada com uma amostra composta de solo (a partir de três subamostras) de cada base, retirada com o auxílio de um trado calador na camada de 0-5 cm. As subamostras foram homogeneizadas, pesadas 20 g de solo em balança analítica BL3200H (Shimadzu®, Tóquio, Japão) e secas em

estufa de ar forçado a 105°C por 24 horas no Laboratório de Física do Solo pertencente ao Departamento de Solos da UFPR. A w foi obtida pela razão entre a massa da amostra seca e a da amostra úmida (g MS.kg solo⁻¹).

A densidade do solo (D_s , kg.dm⁻³) foi determinada pela relação entre o volume do perfil do solo (dm⁻³) e a massa de solo seca (kg) de cada perfil do solo amostrado, com base nos princípios do método de escavação para a determinação da densidade (BLAKE; HARTGE, 1986).

3.2.6 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 10%, utilizando o *software* Sisvar v 5.6, de acordo com a seguinte equação:

$$\gamma_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad (\text{EQUAÇÃO 7})$$

Em que, γ_{ij} é o efeito do i -éssimo tratamento (sistema de produção) na j -éssima repetição; μ é a constante (media geral); α_i é o efeito do tratamento (sistema de produção) i (i = desmame; lactente); ε_{ij} é o erro aleatório associado a cada observação.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Taxa de Emissão de Metano

As taxas de emissão de metano (CH₄) variaram entre 252,2 a -220,4 mg C-CH₄.m⁻².h⁻¹, entre 2015 e 2016 (GRÁFICO 2). Não foi observado uma sazonalidade no fluxo de emissão do CH₄ pelo solo. As taxas de emissão do CH₄ foram superiores ($P < 0,10$) no sistema de produção com desmame dos cordeiros em relação ao sistema lactente de cordeiros e ovelhas.

As relações entre emissão de CH₄ e biomassa vegetal já foi observada em vários estudos (CHANTON et al., 1993; WHITING; CHANTON, 1993; VAN DEN POL-VAN DASSELAAR et al. 1999), visto que a MO da forrageira é um importante substrato

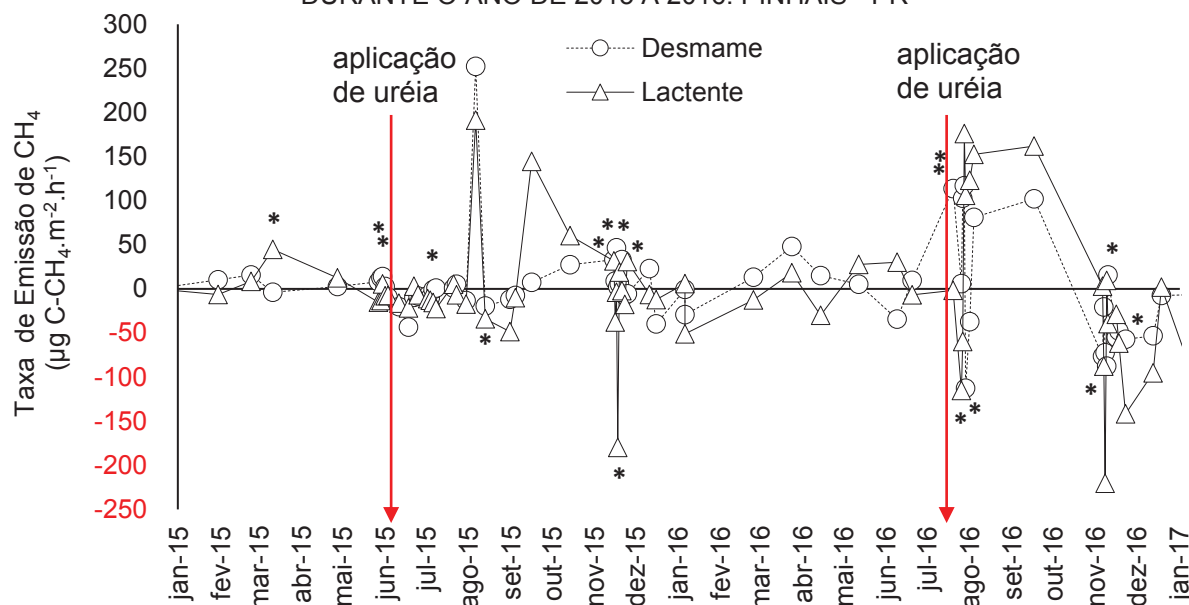
para a metanogênese no solo. No sistema de produção de cordeiros com desmame, a suplementação com concentrado farelado, leva a uma alteração no comportamento ingestivo dos animais, isto já foi observado e descrito por Faisca (2017) e Peres (2018). Com a alteração do dossel forrageiro e a qualidade da MO depositada no solo através da senescência da forragem, em função da suplementação dos cordeiros, isto pode elevar o processo de metanogênese no solo, explicando as taxas mais elevadas de emissão do CH₄ no solo.

Após a aplicação de N-inorgânico nas adubações foi observado o pico de emissão de CH₄, em 2015 e em 2016, como era esperado. As emissões de CH₄ do solo são reguladas principalmente pela atividade microbiana de bactérias metanogênicas em condições de anaeróbiose. A amônia (NH₄⁺) também afeta as taxas de emissão de CH₄. Segundo Mishra, Shukla e Shukla (2018), a enzima metano mono-oxigenase (MMO) é capaz de oxidar NH₄⁺ e NO₂⁻, em situação de adubação nitrogenada, associada à precipitação, podendo ocorrer uma competição pela MMO. Contudo, esta competição ainda não está bem elucidada, não se sabendo se a mesma é simples ou parcial pelo MMO (DUNFILED; KNOWLES, 1997). Como observado após a aplicação de N-inorgânico em 2016, inicialmente correu influxo de CH₄ e efluxo de N₂O (GRAFICO 3) e após o pico de emissão do N₂O, a competição pela MMO reduziu após a volatilização do N, levando ao aumento significativo das taxas de emissão do CH₄. Esse efeito também foi observado por Nogueira et al. (2015) em pastagem de *Urochoa brizantha* na região Centro-Oeste do Brasil.

As taxas de emissão de CH₄ se mantiveram baixas ao longo do ano, com exceção de alguns picos pontuais, atuando como sumidouros em várias das coletas. Na região sul do Brasil, as emissões de CH₄ em ambientes pastoris, com pastagens de azevém (*Lolium multiflorum*) e aveia (*Avena sativa*), respectivamente, foram próximas às observadas no presente estudo (ZANATTA et al., 2010; SORDI et al., 2014). Os efluxos de CH₄ podem estar associados ao efeito da compactação superficial do solo, em função do pisoteio dos animais. Isso leva à criação de microsítios de anaerobiose favoráveis a metanogênese no solo (TAN et al., 2009).

O solo em ambientes pastoris pode atuar como drenos ou fonte de CH₄, isto depende das condições ambientais (físicas e químicas), o que interfere na atividade da população microbiana presente no solo, que, em última instancia determina a produção ou remoção de CH₄, em função dos processos de oxidação (SAGGAR et al., 2008; PIVA et al., 2014).

GRÁFICO 2 - TAXA DE EMISSÃO DO METANO (CH_4) EM UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA DURANTE O ANO DE 2015 A 2016. PINHAIS - PR



3.3.2 Taxa de Emissão de Óxido Nitroso

As taxas de emissão do óxido nitroso (N_2O) pelo solo apresentaram variação de $703,7 \mu\text{g N-N}_2\text{O.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ a $-66,4 \mu\text{g N-N}_2\text{O.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ entre 2015 a 2016 (GRÁFICO 3). Os maiores picos de N_2O ocorreram após aplicação de ureia no solo, nos dois anos avaliados, como era esperado, resultando em aumento de até nove vezes as taxas de emissão. Os efeitos da adubação nitrogenada já foram amplamente discutidos pela literatura (BAGGS et al., 2003; SAGGAR et al., 2007, 2008; ZANATTA et al., 2010; NOGUEIRA et al., 2015).

O pico de N_2O normalizou aproximadamente 15 dias após aplicação do fertilizante em 2015; em 2016, os valores normalizaram apenas dois dias após a adubação. Esta diferença deve estar associada à quantidade de N aplicada na segunda fertilização, que foi metade da dose aplicada no ano anterior.

As taxas de emissão do fluxo de N_2O foram superiores ($P < 0,10$) no sistema com desmame dos cordeiros na maioria das avaliações realizadas ao longo do período experimental. Os resultados obtidos podem estar associados ao efeito do pastejo dos animais, pela taxa de lotação superior, associada ao sistema produtivo em questão. Isto leva a uma maior quantidade e qualidade de resíduos do pastejo,

que após a deposição no solo, e conseqüentemente, maior disponibilidade de N nestas áreas, refletiriam, em taxa de emissão mais elevadas do óxido nitroso (NEILL et al., 1997; VERCHOT et al., 1999).

Outro fator que pode ter afetado estes resultados, se refere ao comportamento ingestivo dos animais, Peres (2018) e Faisca (2017) observaram diferença nos teores de proteína bruta (PB) nos bocados realizados pelos cordeiros desmamados em relação aos cordeiros lactentes. Isto se deve ao efeito da suplementação com concentrado farelado isoproteico (TABELA 2, p. 58), isto, reduziu a demanda por N ingerido via forrageira. Esta alteração no padrão de ingestão, poderia levar a uma concentração de N disponível pela degradação dos resíduos das forrageiras no solo.

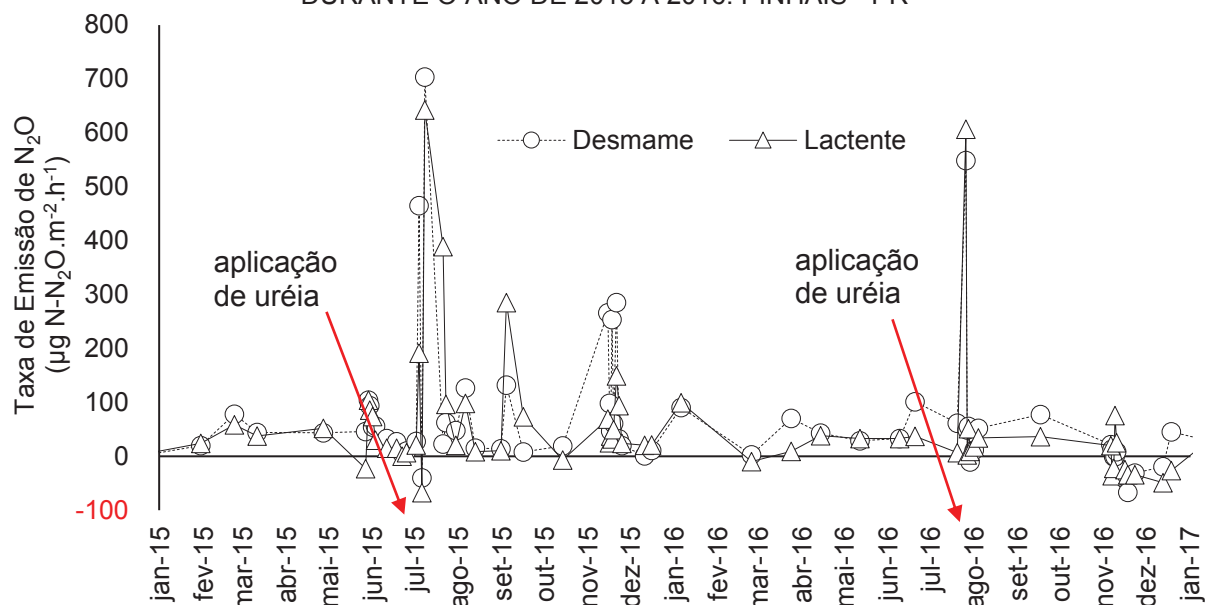
A taxa de emissão do N_2O se manteve abaixo de $100 \mu g \text{ N-N}_2O.m^{-2}.h^{-1}$, na maior parte do período experimental. O pico de emissão de N_2O observado em setembro pode estar associado ao crescimento radicular e à senescência da aveia preta e do azevém que ocorre normalmente a partir do mês de setembro, conforme observado por Piazzetta et al. (2014), na mesma região.

Áreas pastoris tendem a apresentar emissões menores de N_2O em função da dinâmica da utilização do N no solo pela pastagem, pois o pastejo realizado pelos animais leva a estímulo do crescimento do pasto, aumentando assim a demanda por N pela forrageira (HILLESHEIM; CORSI, 1990), levando a redução na disponibilidade de N no solo, que é a fonte da emissão de N_2O .

3.3.3 Emissões Acumuladas de Metano e Óxido Nitroso

As emissões acumuladas anuais de metano e óxido nitroso não foram afetadas pelos sistemas de produção ($P>0,10$), com exceção à emissão acumulada do metano em 2016, em que o sistema com desmame dos cordeiros apresentou influxo acumulado de $-2,97 \text{ kg CO}_{2\text{-eq.}}.ha^{-1}.ano^{-1}$ e o sistema de produção com cordeiros lactentes e suas mães apresentou um fluxo acumulado de $7,06 \text{ kg CO}_{2\text{-eq.}}.ha^{-1}.ano^{-1}$ ($P=0,09$). De forma geral, as emissões acumuladas dos GEE foram semelhantes para os dois sistemas nos dois anos avaliados.

GRÁFICO 3 - TAXA DE EMISSÃO DO ÓXIDO NITROSO (N₂O) EM UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA DURANTE O ANO DE 2015 À 2016. PINHAIS - PR



NOTA: *médias diferem estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 10% de significância.

Os resultados mostram que ambientes pastoris podem atuar como fonte e como dreno de CH₄. A emissão acumulada de CH₄ no ano foi semelhante a reportada por Petersen et al. (2012) em pastagem de azevém (*L. perenne* L.) consorciado com trevo branco (*Trifolium repens* L.) com bovinos na Dinamarca, que foi de 95,2 kg CO₂-eq.ha⁻¹.ano⁻¹.

A emissão acumulada anual do N₂O variou entre 133,9 e 159,6 Mg CO₂-eq.ha⁻¹.ano⁻¹, sendo semelhante às observadas por Cardoso et al. (2017), em situação de pastejo moderado de capim Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) por bovinos, na região Sudeste do Brasil. Ainda, Bayer, Dieckow e Zanatta (2012) registraram emissões acumuladas de 1,27 Mg N-N₂O.ha⁻¹.ano⁻¹ na região Sul do Brasil, em uma área de integração lavoura pecuária (ILP), com valores semelhantes às emissões observadas no presente estudo.

3.3.4 Temperatura do Solo e Porosidade Preenchida com Água

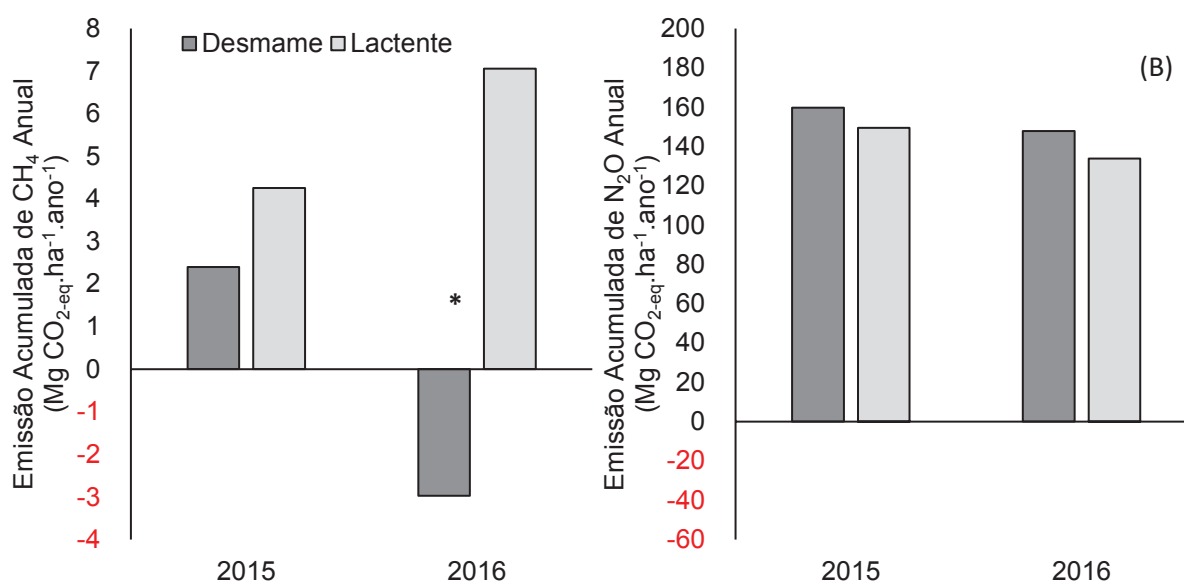
A temperatura média do solo variou entre 23,4°C no verão a 11,1°C no inverno entre 2015 e 2016 (GRÁFICO 5). As variações da temperatura seguiram a tendências da temperatura do ar. A temperatura do solo no sistema com desmame dos cordeiros

foi inferior ($P < 0,10$) a temperatura do solo do sistema de produção lactente de cordeiros em seis coletas realizadas.

Segundo Bonetti, Anghinoni e Zulpo (2017) o manejo da pastagem afeta diretamente a temperatura do solo, a redução da cobertura do solo pelo pastejo intenso e moderado (20 cm), que resultam em temperatura do solo mais alta.

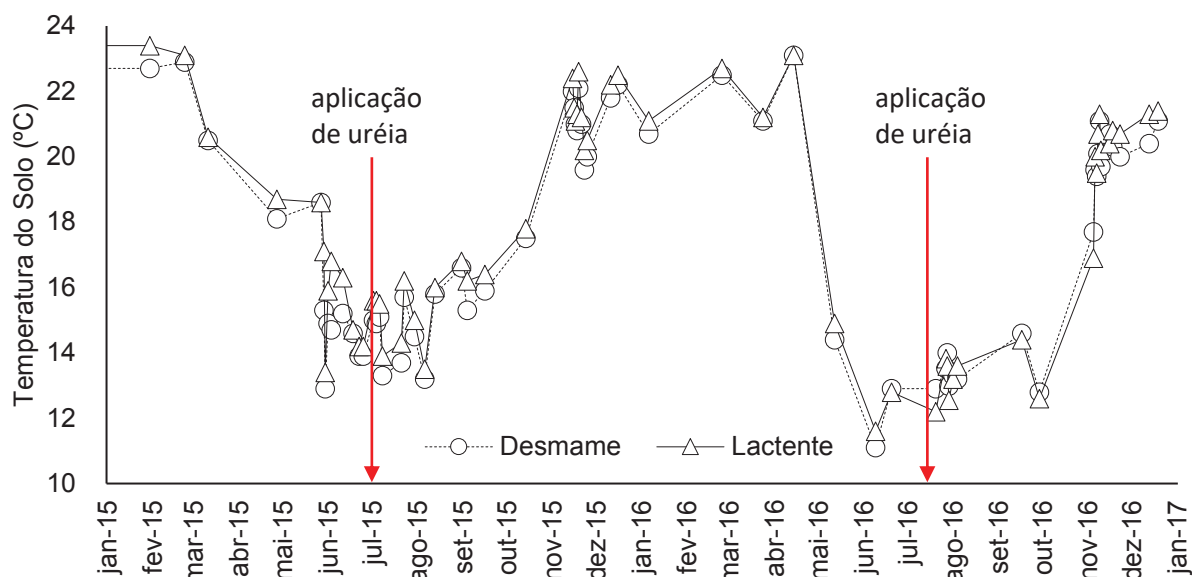
A Porosidade Preenchida com Água (PPA) do solo mínima foi de 5,8% e máxima 54,6% entre 2015 e 2016 (GRÁFICO 6). A PPA do sistema lactente foi inferior ($P < 0,10$) ao sistema com desmame dos cordeiros em apenas três avaliações.

GRÁFICO 4 - EMISSÕES ACUMULADAS ANUAIS DE METANO (A) E ÓXIDO NITROSO (B) DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA DURANTE O ANO DE 2015 E 2016. PINHAIS - PR.



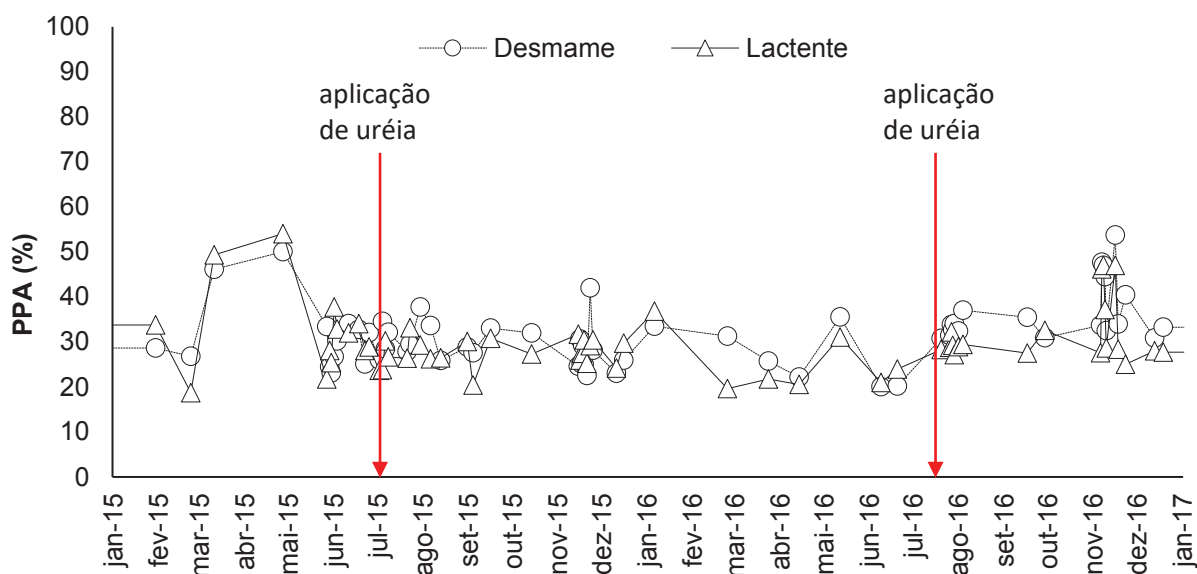
NOTA: *médias diferem estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 10% de significância.

GRÁFICO 5 - TEMPERATURA DE LATOSSOLO VERMELHO AMARELO A PROFUNDIDADE DE 0-5 CM EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA DURANTE O ANO DE 2015 E 2016. PINHAIS - PR



NOTA: *médias diferem estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 10% de significância

GRÁFICO 6 - POROSIDADE PREENCHIDA COM ÁGUA (PPA) EM UM LATOSSOLO VERMELHO A PROFUNDIDADE DE 0-5 CM AMARELO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA DURANTE O ANO DE 2015 (A) E 2016 (B). PINHAIS - PR



NOTA: *médias diferem estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 10% de significância

3.4 CONCLUSÕES

Os sistemas de produção de cordeiros não afetaram as emissões acumuladas de CH_4 e N_2O em ambiente pastoril. As taxas de emissão de CH_4 e N_2O do solo foram

afetadas pela adubação nitrogenada levando a grandes picos de emissão do N_2O em curto prazo.

Os fluxos de gases foram positivos na maior parte do ano; portanto, as áreas pastoris atuaram como fonte dos GEE. Contudo, as variações observadas no fluxo do CH_4 e N_2O pelo solo, ressalta a importância das avaliações a longo prazo.

4 CAPÍTULO IV: EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO E METANO DOS DEJETOS DE OVINOS DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO A PASTO NO SUL DO BRASIL

RESUMO

Os dejetos são fontes de substrato para a produção de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) pelos microrganismos presentes no solo, contribuindo desta forma para o fluxo dos gases de efeito estufa nos sistemas de produção de ruminantes em pastagem. O presente estudo foi conduzido para avaliar o efeito do sistema de produção de ovinos a pasto sobre os Fatores de Emissão (FE) do CH_4 e N_2O provenientes dos dejetos (fezes e urina) dos cordeiros e das ovelhas. O presente estudo foi realizado no Laboratório de Pesquisa e Produção de Ovinos e Caprino (LAPOC), em Pinhais (Paraná, Brasil), entre 2014 e 2016. A área experimental era de Latossolo vermelho amarelo com pastagem mista. Foram avaliados dois sistemas de produção a pasto de ovinos, sendo: Sistema de Produção Lactente, sem o desmame dos cordeiros, mantidos com a sua respectiva mãe em pastagem até atingir o peso de abate; Sistema de Produção com Desmame, com desmame aos 60 dias de vida do cordeiro, mantidos em pastagem e recebendo suplementação concentrada de 20 g MS.kg PC^{-1} . O método de pastejo foi contínuo, com taxa de lotação variável e oferta de forragem de 160 g MS.kg $\text{PC}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Foram determinadas a massa por defecação e volume por micção médias dos animais por categoria animal (cordeiro e ovelha) de cada tratamento, sendo analisadas as concentrações de C e N nos dejetos. Foram simuladas uma defecação em uma base metálica fixada no solo, uma micção em outra, e uma base controle sem adição de dejetos para descontar as emissões do solo. Para cada dejetos foi calculado o fator de emissão (FE, % de N aplicado emitido como $\text{N}-\text{N}_2\text{O}$) do N_2O , e o FE do CH_4 das fezes (% de C aplicado emitido como $\text{C}-\text{CH}_4$) das emissões acumuladas ao longo de 90 dias após a aplicação dos dejetos no solo. Foram avaliadas as temperaturas do solo no momento da coleta e a porosidade preenchida com água (PPA). Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e dois tratamentos, os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância pelo teste Tukey ao nível de significância de 10%. Os dejetos (fezes e urina) afetaram os fluxos de CH_4 e N_2O do solo. Apresentou picos de emissão entre o 1-5 dias após a aplicação dos dejetos no solo. Sendo que as emissões de CH_4 foram superiores ($P<0,10$) ao do solo. O pico de emissão do N_2O foi superior da urina até o terceiro dia após a aplicação dos dejetos. Já das fezes ocorreu entre 3 e 5 dias, sendo mais tardio em relação a da urina. Os FE não foram afetados pelo sistema de produção nas duas categorias animais ($P>0,10$) apresentando médias de 0,56%, 0,54% e 0,26% para ovelhas e de 0,64%, 0,60% e 0,50% dos cordeiros para os FE de CH_4 das fezes, e FE de N_2O das fezes e urina, respectivamente. A PPA do solo variou de 17,4 a 66,4%, e a temperatura do solo entre 16 a 23,6°C. Conclui-se que os dejetos afetam os fluxos de CH_4 e N_2O , contudo os FE não foram afetados pelos sistemas de produção.

Palavras-chave: Biomassa Microbiana. Esterco. Fator de Emissão. Mineralização.

NITROUS OXIDE AND METHANE EMISSIONS OF SHEEP WASTE IN DIFFERENT PRODUCTION SYSTEMS PASTURE IN SOUTH OF BRAZIL

ABSTRACT

Waste is a substrate source for the production of methane (CH_4) and nitrous oxide (N_2O) by microorganisms present in the soil, thus contributing to the flow of greenhouse gases in grazing ruminant production systems. The present study was conducted to evaluate the effect of the system of production of sheep on pasture on CH_4 and N_2O Emission Factors (EF) from lambs and sheep. The present study was carried out in the Laboratory of Research and Production of Sheep and Goat (LAPOC), in Pinhais (Paraná, Brazil), between 2014 and 2016. The experimental area was Oxisol with mixed pasture. Two systems of sheep grazing production were evaluated: Suckling Production System, without weaning of lambs, kept with their respective mother on pasture until reaching slaughter weight; Weaning Production System, weaned at 60 days of lamb life, kept on pasture and receiving a concentrated supplementation of 20 g DM.kg BW⁻¹. The grazing method was continuous, with variable stocking rate and forage supply of 160 g DM.kg BW⁻¹.day⁻¹. Mass was determined by defecation and volume by mean micturition of animals per animal category (lamb and ewe) of each treatment, and the C and N concentrations in the wastes were analyzed. A defecation was simulated in a fixed metal base in the soil, a micturition in another, and a control base without addition of waste to discard the emissions of the soil. For each manure, the emission factor (EF, % of N applied applied as N- N_2O) of N_2O was calculated, and the EF of CH_4 of the feces (% of applied C emitted as C- CH_4) of accumulated emissions over 90 days after the application of the waste in the soil. Soil temperatures were evaluated at the time of collection and the Water-filled pore space (WFPS). A completely randomized design with four replicates and two treatments was used, the data obtained were analyzed by Tukey test at a significance level of 10%. The manure (faeces and urine) affected the soil CH_4 and N_2O fluxes. It presented emission peaks between 1-5 days after the application of the wastes in the soil. Since the CH_4 emissions were higher ($P < 0.10$) than the soil. The peak of emission of N_2O was superior to the urine until the third day after the application of the wastes. The stool occurred between 3 and 5 days, being later than the urine. EF was not affected by the production system in the two animal categories ($P > 0.10$) presenting a mean of 0.56%, 0.54% and 0.26% for sheep and 0.64%, 0.60% and 0.50% of lambs for faecal CH_4 EF, and N_2O EF of faeces and urine, respectively. Soil WFPS ranged from 17.4 to 66.4%, and soil temperature ranged from 16 to 23.6 °C. It is concluded that manure affects the flows of CH_4 and N_2O , however the FE was not affected by the production systems.

Key-words: Emission Factor. Manure. Microbial Biomass. Mineralization.

4.1 INTRODUÇÃO

Os dejetos dos animais compreendem uma importante fonte de matéria orgânica (MO) para as bactérias degradadoras presentes no solo e contribuem para a produção de gases de efeito estufa (GEE). Contudo, os inventários nacionais de GEE feito pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), estimam as emissões de gases a partir dos dejetos, utilizando o fator de emissão (FE) do *Tier 1* (IPCC, 2006), que é de 1% para ovinos. Entretanto, recentes pesquisas mostram variação quanto aos valores de FE para os ovinos (LUO et al., 2008; HOEFT et al., 2012; LUO et al., 2013; TOMAZI et al., 2015; SAVIAN, 2017).

As variações observadas na literatura podem ser atribuídas a diversos fatores, tais como, teor de umidade das fezes, concentração do carbono (C) e nitrogênio (N) nas fezes, temperatura do solo, e ação por microrganismos (BROUČEK, 2015). As quantidades e a qualidade dos dejetos (massa fecal e volume de urina) são variáveis dependentes do teor de N na pastagem e nos suplementos ingeridos, na idade e na condição fisiológica do animal, e estas variações não são consideradas nas estimativas que são publicadas nos inventários, considerando-se apenas as ovelhas adultas.

Em áreas de pastagem, as emissões de GEE que retornam com o C e N dos dejetos, diferem entre a urina e as fezes (CARDENAS et al., 2016). A urina é a principal fonte de N para as emissões de óxido nitroso (N_2O) pelo solo em sistemas pastoris (LOU; LINDSEY; LEDGARD, 2008). Isto ocorre pois a cada micção, um elevado teor de N disponível e a água presente na urina são depositados no solo. A formação de N_2O ocorre por duas vias: a primeira através da desnitrificação do nitrito (NO_2^-) e do nitrato (NO_3^-), a segunda, quando há nitrificação do amônio (NH_4^+) formado pela hidrólise da ureia da urina (BUTTERBACH-BAHL et al., 2013).

Já as fezes apresentam elevados teores de C e de N; contudo, as emissões de metano (CH_4) e N_2O são afetadas pelas condições ambientais (temperatura e precipitação) e por características físico-químicas das fezes (CHADWICK et al., 2018). A características químicas dos dejetos é resultado direto das dietas aos quais os animais são submetidos, portanto, do sistema de produção utilizado (FERREIRA et al., 2013).

A emissão de CH_4 ocorre em condições de anaerobiose pelas bactérias metanogênicas presentes no solo e nas fezes (CASSANDRO; MELE; STEFANON,

2013). Isto sugere que há possibilidade de se reduzir as emissões de CH₄, se as fezes estiverem em condições de aerobiose (MONTES et al., 2013).

Portanto, a complexidade de processos envolvidos nas emissões dos gases a partir dos dejetos, trazem incerteza quando a acurácia dos valores informados quanto ao FE, nas estimativas dos inventários nacionais.

O presente estudo foi conduzido para avaliar o efeito do sistema de produção de ovinos a pasto sobre os Fatores de Emissão (FE) do CH₄ e N₂O provenientes dos dejetos (fezes e urina) dos cordeiros e das ovelhas.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Condições Experimentais

O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) do Setor de Ciências Agrárias (SCA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) sobre o protocolo nº007/2014.

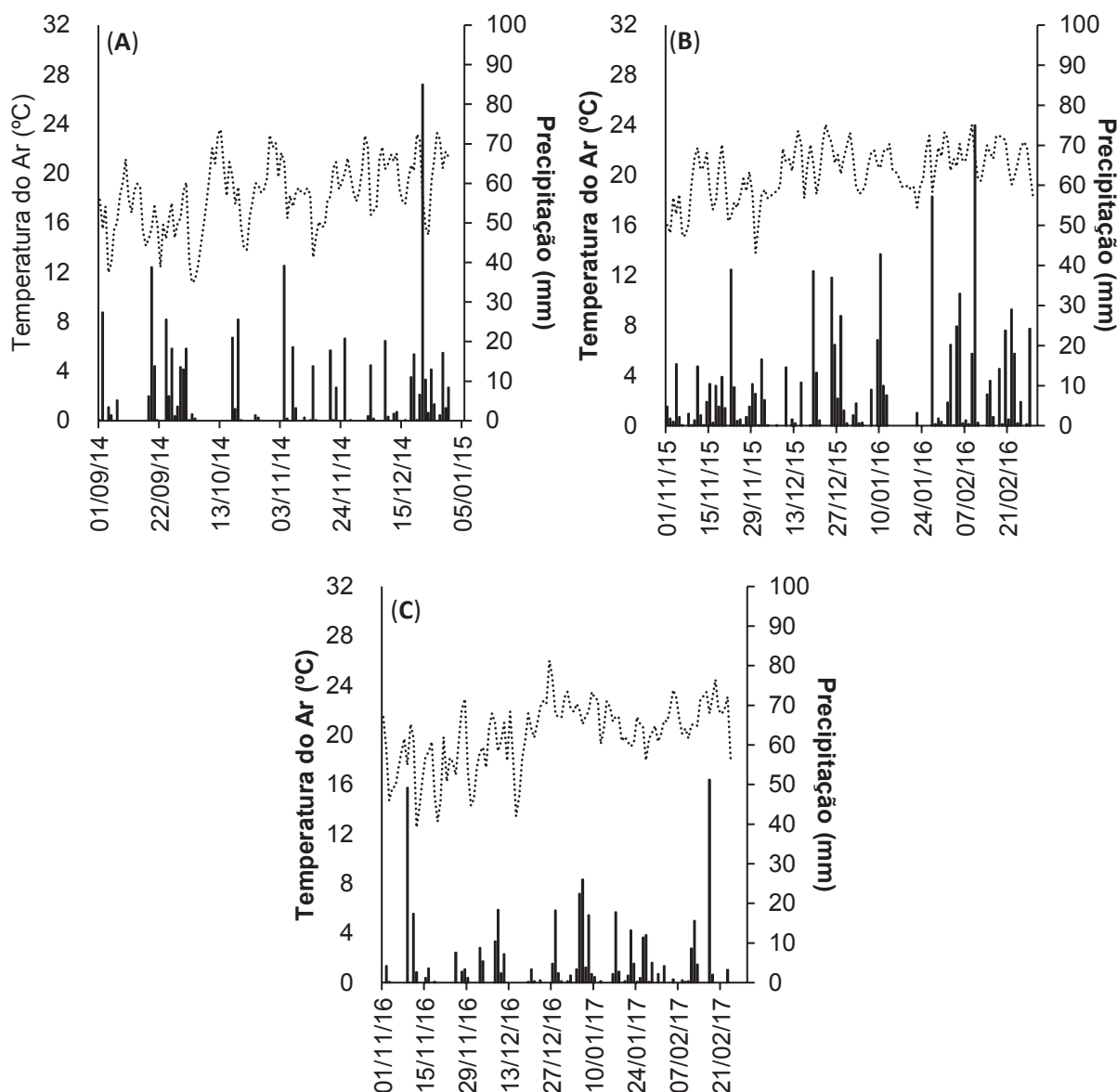
Este estudo foi conduzido entre setembro de 2014 e fevereiro de 2017, no Laboratório de Produção e Pesquisa de Ovinos e Caprinos (LAPOC) na Fazenda Experimental do Cangüiri da Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizado no município de Pinhais, Brasil (25°23'22"S, 49°08'24"W).

A área experimental é formada por Latosolo vermelho amarelo, de textura argilosa, com relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006). A composição física e química do solo está apresentada na TABELA 1 (p. 39), a partir de análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos da UFPR.

As emissões dos gases foram monitoradas até 90 dias após a aplicação dos dejetos no solo, sendo que essas as aplicações ocorreram nos dias 08/09/2014, 14/11/2015 e 06/11/2016.

A região é caracterizada pelo clima temperado húmido (Cfa), conforme a classificação de Köppen-Geiger (SIMEPAR, 2015). No Gráfico 3 são apresentadas as temperaturas máxima, média e mínima (°C) do dia, e precipitação pluviométrica (mm) ao longo do período experimental, a partir de dados obtidos da estação meteorológica automática em Pinhais (PR), pertencente ao SIMEPAR e localizado a 980m da área experimental.

GRÁFICO 7 - TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA E PRECIPITAÇÃO DIÁRIA AO LONGO PERÍODO EXPERIMENTAL POR ANO 2014 (A), 2015 (B) E 2016 (C). PINHAIS - PR



FONTE: Dados cedidos pelo SIMEPAR (jul. 2018).

4.2.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos (sistemas de produção) e quatro repetições por tratamento (piquetes de pastagem). Os tratamentos foram dois sistemas de produção de ovinos de pastagem: (**lactente**) Sistema de produção de cordeiros sem desmame, mantidos com a respectiva mãe em pastagem até atingir o peso de abate aos 40 kg; (**desmame**) Sistema de terminação de cordeiros desmamados, mantidos em pastagem e recebendo suplementação concentrada farelada diária de 20 g MS.kg PC⁻¹. A

composição química da ração concentrada se encontra na Tabela 2. As ovelhas não lactantes mantidas em piquetes separados tiveram seus dejetos avaliados apenas em 2016.

TABELA 2 - COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DO SUPLEMENTO CONCENTRADO FARELADO FORNECIDO AOS CORDEIROS DESMAMADOS POR ANO DE AVALIAÇÃO

Componente	Ano		
	2014	2015	2016
Matéria Orgânica (g.kg MS ⁻¹)	928,8	935,4	936,8
Proteína Bruta (g.kg MS ⁻¹)	243,0	183,5	191,8
Matéria Mineral (g.kg MS ⁻¹)	71,2	64,6	63,2
Fibra em Detergente Neutro (g.kg MS ⁻¹)	204,9	215,6	195
Fibra em Detergente Ácido (g.kg MS ⁻¹)	55,4	67,3	58,7
Extrato Etéreo (g.kg MS ⁻¹)	22	21,5	30,3
Fibra Bruta (g.kg MS ⁻¹)		45,5	39,3
Nitrogênio solúvel em detergente ácido (g.kg MS ⁻¹)		0,5	0,7
Nutrientes Digestíveis Totais (g.kg MS ⁻¹)	760	747,4	714,4

NOTA: Análises realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia (UFPR, Curitiba - PR).

4.2.3 Animais

Foram coletadas amostras de 3 animais *testers* por categoria por repetição (cordeiro, $n = 24$; ovelha $n = 12$, 24 em 2016). Esses animais eram oriundos de cruzamento das raças White Dorper x Suffolk distribuídos aleatoriamente nos dois sistemas de produção. No ano de 2016 foram avaliadas 24 ovelhas, pois as ovelhas mães dos cordeiros desmamados também foram consideradas. Os pesos corporais e idade dos animais no momento das avaliações encontram-se descritos na TABELA 3 por ano de avaliação.

TABELA 3 - PESO CORPORAL E IDADE (MÉDIAS \pm DESVIOS PADRÕES) DOS ANIMAIS TESTERS NO MOMENTO DA COLETA DOS DEJETOS POR ANO DE AVALIAÇÃO, POR CATEGORIA ANIMAL EM PASTAGENS NO SUL DO BRASIL. PINHAIS - PR

Variável	Ano de Avaliação		
	2014	2015	2016
Início do período experimental			
Peso Corporal cordeiro (kg)	21,7 \pm 0,8	26,5 \pm 0,9	32,1 \pm 2,4
Idade cordeiro (dias)	75,3 \pm 2	65 \pm 2	131 \pm 10
Peso Corporal ovelha (kg)	65,3 \pm 2,4	67,8 \pm 7,1	70,6 \pm 2,5
Idade ovelha (meses)	51 \pm 17	38 \pm 16	53 \pm 15
Final do período experimental			
Peso Corporal cordeiro (kg)	35,7 \pm 4,1	37,1 \pm 4,1	38,6 \pm 5,5
Idade cordeiro (dias)	160 \pm 8	137 \pm 7	185 \pm 13
Peso Corporal ovelha (kg)	69,9 \pm 10,6	59,0 \pm 3,9	72,5 \pm 9,5
Idade ovelha (meses)	53 \pm 18	40 \pm 17	55 \pm 16

4.2.4 Coleta e Quantificação dos Dejetos

Para se estimar a massa fecal por defecação (g MS) e o volume de urina por micção (mL) dos animais, os animais *testers* de cada repetição (piquete) e categoria (cordeiro e ovelha) foram alocados em baias individuais (200x120 cm) com bebedouro e cocho por quatro horas, sendo alimentados com a mesma pastagem retirada do respectivo piquete. Durante este período, um avaliador permaneceu com um copo (400 mL), para coleta de urina, e um balde com haste de madeira (1,5 L), para coleta de fezes. Imediatamente a cada micção/defecação do animal, as amostras foram quantificadas em balança de precisão (fezes) e em proveta graduada (100 mL; urina).

Para a determinação da produção fecal diária (PF) dos cordeiros (lactentes e desmamados), uma bolsa de fezes foi colocada em um animal por repetição, sendo esvaziado a cada 8 horas, durante 24 horas. As amostras foram pesadas na balança semi-analítica Mark 2200 (Bel Engineering®, Monza, Itália). Uma sub-amostra de 200 g em Matéria Natural (MN) foi pesada e seca em estufa a 56 ° C por 72 horas, sendo pesada novamente para determinação da matéria seca (MS) das fezes.

Já a produção fecal das ovelhas foi estimada utilizando-se marcador externo dióxido de titânio (TiO₂), conforme descrito por Peres (2018).

As amostras dos dejetos dos animais, após a coleta, foram homogeneizadas por piquete de pastagem e por categoria animal (cordeiro e ovelha), sendo armazenadas em refrigerador entre 6 a 10°C por uma hora. O volume médio por micção (mL) e massa fecal média por defecação (g MN) dos animais foram calculados, e uma amostra simulando uma defecção foi feita em base metálica previamente fixada no solo nos respectivos piquetes da área experimental. Em outra base foi simulada uma micção, e em terceira base não foi depositado nenhum dejetos, sendo considerada a amostra “branco”, para determinação das emissões do solo não associadas aos dejetos. As bases se encontravam em posição paralela, umas às outras, com distância mínima de 1 m entre elas.

4.2.5 Características dos Dejetos

As características (quantidade e composição química) dos dejetos (fezes e urina) dos animais por categoria (cordeiro e ovelha) em cada sistema de produção avaliado por ano de avaliação se encontram descritos na TABELA 4.

TABELA 4 - PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FEZES E URINA (MÉDIA ± DESVIO PADRÃO) DOS ANIMAIS EM CADA CATEGORIA ANIMAL E SISTEMA DE PRODUÇÃO POR ANO. PINHAIS - PR

Variável	Lactente		Desmame	
	Cordeiro	Ovelha	Cordeiro	Ovelha
2014				
Produção fecal (g MS.d ⁻¹)	275 ± 74	941 ± 103	291 ± 84	-
Massa fecal por defecação (g MS)	8,8 ± 4,2	28,1 ± 5,3	10,7 ± 3,4	-
Carbono fecal (g C.kg MS ⁻¹)	422,2 ± 11,1	432,2 ± 19,3	426,7 ± 8,9	-
Nitrogênio fecal (g N.kg MS ⁻¹)	32,0 ± 1,3	33,4 ± 2,1	33,2 ± 2,4	-
Produção urinária (mL.d ⁻¹)	685 ± 63	2.848 ± 157	764 ± 47	-
Volume de urina por micção (mL)	143 ± 33	127 ± 21	169 ± 90	-
Nitrogênio urinário (%)	0,82 ± 0,31	0,82 ± 0,24	0,73 ± 0,07	-
2015				
Produção fecal (g MS.d ⁻¹)	381 ± 92	832 ± 103	333 ± 202	-
Massa fecal por defecação (g MS)	10,0 ± 3,2	36,8 ± 10,5	9,8 ± 3,5	-
Carbono fecal (g C.kg MS ⁻¹)	424,5 ± 17,5	430,5 ± 12,6	417,9 ± 8,7	-
Nitrogênio fecal (g N.kg MS ⁻¹)	23,3 ± 3,2	35,0 ± 4,0	22,4 ± 4,3	-
Produção urinária (mL.d ⁻¹)	716 ± 100	2.361 ± 155	770 ± 81	-
Volume de urina por micção (mL)	30 ± 10,4	88 ± 41,2	50 ± 14,5	-
Nitrogênio urinário (%)	1,09 ± 0,65	1,55 ± 0,56	1,79 ± 0,43	-
2014				
Produção fecal (g MS.d ⁻¹)	285 ± 59	823 ± 134	248 ± 42	560 ± 139
Massa fecal por defecação (g MS)	12,0 ± 2,6	12,4 ± 4,7	11,5 ± 0,9	12,7 ± 4,1
Carbono fecal (g C.kg MS ⁻¹)	429,4 ± 8,0	436,6 ± 12,3	412,4 ± 7,0	440,7 ± 6,1
Nitrogênio fecal (g N.kg MS ⁻¹)	35,7 ± 4,9	35,4 ± 4,0	35,8 ± 2,1	40,4 ± 2,0
Produção urinária (mL.d ⁻¹)	739 ± 131	2.758 ± 67	803 ± 59	3.010 ± 336
Volume de urina por micção (mL)	58 ± 10	106 ± 32	71 ± 16	103 ± 20
Nitrogênio urinário (%)	1,24 ± 0,72	1,15 ± 0,71	1,30 ± 0,72	1,09 ± 0,68

4.2.6 Emissão de Metano e Óxido Nitroso

As coletas dos gases foram realizadas com as câmaras de retenção de gás em bases estáticas ocorreu por cinco dias consecutivos após a aplicação dos dejetos no solo; e a cada dois dias após esse período de 5 dias, uma coleta na terceira semana, e em seguida, a cada 15 dias, até 90 dias pós-aplicação dos dejetos nas bases.

As emissões dos GEE foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Mosier (1989), na qual um conjunto de câmaras estáticas de retenção de gás, com bases metálicas, seringas de polipropileno de 10 mL e termômetros foram utilizadas para coletar as amostras de gases.

As bases utilizadas foram aros de ferro com 33 cm de diâmetro e 5 cm de profundidade no solo e 5 cm de altura, fixados no solo nos respectivos piquetes. As câmaras estáticas de retenção de gás eram feitas com balde de poliuretano (380 mm de altura x 336,5 mm de diâmetro), com vedação de borracha de SBR, com um ventilador (*cooler* 1,3A; 12V) acoplado no centro do topo da câmara para

homogeneização do ar interno e revestido com manta térmica de 2 mm para reduzir as variações da temperatura do ar no interior da câmara. As câmaras foram alocadas às bases metálicas apenas em momentos de coleta.

Cada piquete (repetição) possuía três ou seis bases, dependendo do sistema de produção, sendo:

- **Sistema com Desmame - Piquetes dos Cordeiros Desmamados (três base):** Primeira base com uma amostra simulada de uma defecação de cordeiro; Segunda base com uma amostra simulada de uma micção de cordeiro; Terceira base uma sem dejetos (branco).
- **Sistema com Desmame - Piquetes das Ovelha Não-Lactantes (três base):** Primeira base com uma amostra simulada de uma defecação de ovelha; Segunda base com uma amostra simulada de uma micção de ovelha; Terceira base uma sem dejetos (branco);
- **Sistema Lactente (seis base):** Primeira base com uma amostra simulada de uma defecação de cordeiro; Segunda base com uma amostra simulada de uma micção; Terceira base uma sem dejetos (branco); Quarta base com uma amostra simulada de uma defecação de ovelha; Quinta base com uma amostra simulada de uma micção de ovelha; Sexta base uma sem dejetos (branco);

As coletas que ocorreram em dias específicos, sempre iniciavam as 08h30 (GMT -03h00), conforme preconizado por Costa et al. (2008), com coletas simultâneas de todas as bases no mesmo piquete, repetição a repetição, em toda a área experimental.

As câmaras de retenção eram alocadas às bases e imediatamente era realizada a primeira coleta de amostra de ar, equivalente ao tempo inicial (tempo 0'), sendo aferidas e registradas a temperatura da câmara (°C) nesse mesmo momento. Após 15 minutos, a segunda coleta (tempo 15') era realizada, após homogeneização prévia do ar na câmara, conectando o refrigerador a uma bateria por 30 segundos e registrando a temperatura novamente. Finalmente, era feito pela terceira vez, repetindo o mesmo processo 30 minutos após a colocação da câmara (tempo 30'), sendo aferida a temperatura da mesma.

As amostras de ar foram transferidas das seringas utilizadas a campo para frascos de vidro Exetainer® de 12 ml (Labco Ltda., High Wycombe, Reino Unido), pré-preparados a vácuo com auxílio de agulha descartável 26G (0,45x13 mm). As

concentrações dos gases (CH₄ e N₂O) foram determinadas por cromatografia gasosa em cromatógrafo modelo GC-2014 (Shimadzu®, Tóquio, Japão) equipado com um detector de ionização por chama (FID), para avaliação de CH₄ e detector de captura de elétrons (ECD), para avaliações de N₂O. As análises foram realizadas no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em Porto Alegre (RS).

Para a determinação da taxa de emissão de gases, as concentrações medidas das amostras em cada tempo de coleta foram convertidas em massa unitária por área. Para esta conversão, foi utilizada a equação da lei dos gases ideais, segundo Parkin e Venterea (2010) conforme EQUAÇÃO 1 (p. 43). As taxas de emissão foram calculadas pelo coeficiente do modelo linear ajustado para descrever a variação da concentração de gás dentro da câmara. A emissão acumulada dos gases (C-CH₄ e N-N₂O) no período foi calculada com base na EQUAÇÃO 2 (p. 43).

4.2.7 Fator de Emissão dos Dejetos

O fator de emissão (FE) do N-N₂O da urina e fezes aplicados no solo foi calculado usando a equação a seguir (KLEIN *et al.*, 2003):

$$FE(\%) = \frac{(N_2O_{dejeta} - N_2O_{branco})}{N_{aplicado_{dejeta}}} \times 100 \quad (\text{EQUAÇÃO 8})$$

Em que, *FE* é o fator de emissão (% de N-fecal ou N-urinário emitido na forma de N-N₂O); *N₂O_{dejeta}* e *N₂O_{branco}* são as emissões acumuladas (90 dias) de N-N₂O pelo dejetos (urina ou fezes) e da área controle (branco) respectivamente (kg N-N₂O.ha⁻¹); *N aplicado_{dejeta}* é o total de nitrogênio aplicado no solo pelo dejetos (g N.ha⁻¹).

O *N aplicado_{fezes ou urina}* ou *C aplicado_{fezes}* foi calculado pela quantidade do dejetos aplicado (L urina ou g MS fezes) multiplicado pela concentração de N na urina (g N.L⁻¹) e fezes (g N.kg fezes MS⁻¹), ou de C (g C.kg fezes MS⁻¹), divididos pela área da base metálica (0,0831 m²)

O Fator de Emissão (*FE*) do CH₄ foi calculado apenas para as emissões das fezes. Sendo calculado conforme a seguinte equação:

$$FE(\%) = \frac{(CH_{4_{fezes}} - CH_{4_{branco}})}{C_{aplicado_{fezes}}} \times 100 \quad (\text{EQUAÇÃO 9})$$

Em que, *FE* é o fator de emissão de metano (CH₄) das fezes (%); *CH₄_{fezes}* e *CH₄_{branco}* são as emissões acumuladas (90 dias) de C-CH₄ pelas fezes e da área controle (branco) respectivamente (kg C-CH₄.ha⁻¹); *C aplicado_{fezes}* é o total de carbono aplicado no solo pelas fezes (g C.ha⁻¹).

4.2.8 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 10%, utilizando o *software* estatístico Sisvar v 5.6, de acordo com a EQUAÇÃO 7 (p. 45).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Fluxo de Metano das Fezes

O fluxo de CH₄ apresentaram variação de 1.279 mg C-CH₄.m⁻².h⁻¹ das fezes das ovelhas, à -348 mg C-CH₄.m⁻².h⁻¹, da base branco (emissões do solo sem dejetos), de 2014 a 2016 (GRÁFICO 8).

Os fluxos de CH₄ a partir das fezes foi superior (P<0,01) ao do branco (emissões do solo sem dejetos) no primeiro dia após a aplicação em 2014, mas se estendeu até a 7º dia após a aplicação do dejetos em 2015 e até o 11º dia em 2016.

As emissões de CH₄ a partir das fezes das ovelhas foi superior (P<0,01) a emissão a partir das fezes dos cordeiros (lactentes e desmamados), no primeiro dia após a aplicação dos dejetos. Isto se deve a diferença na massa fecal (massa por defecação) aplicada no solo, que por consequência possuía maior quantidade de substrato, resultado este esperado. Os picos de emissão do CH₄ ocorreram nos primeiros dias após a colocação das fezes; evidenciando que a degradação da MO das fezes já ocorreu logo após a aplicação dos dejetos. Estes picos de emissão já foram observados em outros trabalhos em outras espécies animais (PERGHER, 2014; PELSTER et al., 2016).

4.3.2 Fluxo de Óxido Nitroso das Fezes e Urina

O fluxo de óxido nitroso (N_2O) apresentou uma variação de $+2.761 \mu\text{g N-N}_2\text{O.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ a $-259 \mu\text{g N-N}_2\text{O.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ nos anos de 2014 a 2016 (GRAFICO 8). Os picos de emissão ocorreram no 1º dia após a aplicação da urina, já o das fezes ocorreu no 3º dia. As emissões de N_2O a partir da urina foram superiores ($P<0,10$), nas coletas iniciais, um resultado esperado. Já a emissão a partir das fezes foi superior em poucas avaliações ($P<0,10$).

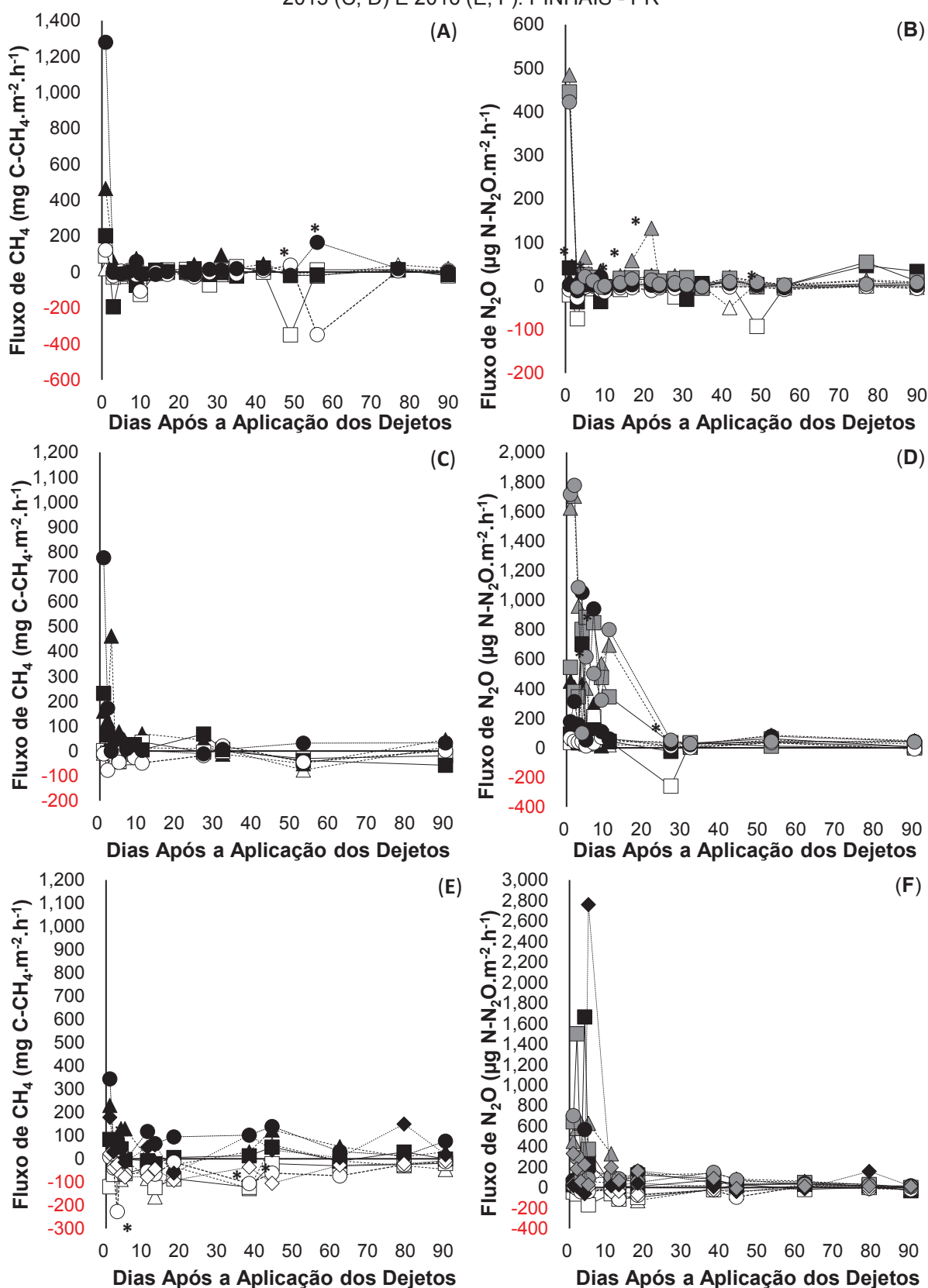
Os fluxos altos de N_2O pela urina e fezes aqui observados são típicos, e já foram bem relatados pela literatura (KLEIN et al., 2003; HOEFT et al., 2012; SORDI et al., 2014). Da mesma forma o pico de emissão entre o 1-5 dia também já foi observado em outros trabalhos (ALLEN et al., 1996; LUO; LINDSEY; LEDGARD, 2008; HOEFT et al., 2012).

Segundo Haynes e Williams (1993) o pico de emissão a partir da urina é resultado da rápida hidrólise do NH_4^+ no solo. Já a nitrificação necessita de mais tempo para ocorrer e emitir NO_3^- (SORDI et al., 2014). Allen et al. (1993) relatam que a emissão de NO_3^- é várias vezes menor ao de NH_4^+ após a aplicação da urina no solo.

Existe uma divergência entre os autores sobre o processo dominante na produção de N_2O , Bol et al. (2004) observaram que a nitrificação foi o fator dominante, já Van Groenigen et al. (2005) descrevem a desnitrificação. Enquanto outros autores mostram que ambos são responsáveis (ALLEN et al., 1996; CARTER, 2007).

O pico tardio e menos acentuado observado da emissão de N_2O pelas fezes (GRAFICO 8 D;F) em relação a urina está associado com a menor quantidade de N aplicada por área, e com a forma que o N está disponível nas fezes, que não está prontamente disponível para hidrólise, como é o caso da N-ureia na urina (SORDI et al., 2014). Sordi et al. (2014) também argumentam que o N fica dentro das fezes, mas, no caso da urina ele entra no solo imediatamente após a aplicação (micção).

GRÁFICO 8 - TAXAS DE EMISSÃO DE METANO (CH_4) E ÓXIDO NITROSO (N_2O) DO SOLO (BRANCO, \circ), URINA (\bullet) E FEZES (\bullet) DE CORDEIROS DESMAMADOS (\blacktriangle) E LACTENTES (\blacksquare), E DE OVELHAS LACTANTES (\bullet) E NÃO LACTANTES (\blacklozenge) POR ANO DE AVALIAÇÃO 2014 (A, B), 2015 (C, D) E 2016 (E, F). PINHAIS - PR



NOTA: *médias diferem estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 10% de significância

4.3.3 Fator de Emissão

Os valores médios do fator de emissão (FE) do CH₄ das fezes, e de N₂O das fezes e da urina não foram afetados pelos sistemas de produção nas duas categorias, ovelha e cordeiro (TABELA 5).

Os valores do FE são utilizados nos inventários de emissões de GEE (IPCC, 2006). Em ambientes pastoris, o FE está relacionado a quantidade dos dejetos depositados e à qualidade dos mesmos (GROENIGEN et al., 2005). Os valores utilizados pelo IPCC seguem as diretrizes do *Tier 1*, que considera valores de 1% para o FE dos dejetos de ovinos.

Os valores médios dos três anos obtidos no presente estudo, 0,56%, 0,54% e 0,26% para ovelhas e de 0,64%, 0,60% e 0,50% dos cordeiros, para os FE de CH₄, e N₂O das fezes e da urina, respectivamente, são inferiores aos preconizados pelo IPCC. Esta divergência com o valor do IPCC vem sendo observada por diversos autores.

Tomazzi et al. (2015) observaram valores de 0,25% do FE da urina e 0,06% do FE fezes para ovinos em pastagem. Cardenas et al. (2016) encontrou valores semelhantes em pastagem na Inglaterra com FE da urina de bovinos com média de 0,54% em avaliação realizada no verão, mas, no inverno apresentando valores inferiores, 0,10%.

Marsden et al. (2018) descreve média de 0,03% para o N₂O da urina de ovinos em pastagem de festuca (*Festuca ovina*) e azevém perene (*Lolium perene*) no País de Gales. O FE do N₂O é o parâmetro mais avaliado em função do elevado potencial de aquecimento global do mesmo, sendo a literatura mais limitada quanto ao fator de emissão para CH₄.

4.3.5 Temperatura do Solo e Porosidade Preenchida com Água

A porosidade preenchida com água (PPA) do solo até 5 cm de profundidade apresentou variação de 28,9 a 57,86% em 2014, de 17,4 a 42% em 2015 e de 27,4 a 66,4% em 2016 (GRAFICO 9). Não foram observadas diferenças estatísticas entre os sistemas e categorias animais na PPA ($P>0,10$). Os resultados foram influenciados pelas variáveis climáticas, principalmente pela precipitação, em que em períodos breves de seca resultaram em redução da PPA, e após eventos de precipitação

elevaram os valores de PPA, como o esperado. O percentual de PPA e a temperatura do solo compreendem importantes fatores reguladores das atividades microbianas relativas aos processos de desnitrificação e metanogênese no solo, o que afeta diretamente as taxas de emissão de CH_4 e N_2O .

TABELA 5 - FATOR DE EMISSÃO (FE) (MÉDIA \pm DESVIO PADRÃO) DO METANO (CH_4) E ÓXIDO NITROSO (N_2O) DOS DEJETOS (FEZES E URINA) DOS ANIMAIS EM CADA CATEGORIA ANIMAL E SISTEMA DE PRODUÇÃO POR ANO. PINHAIS - PR

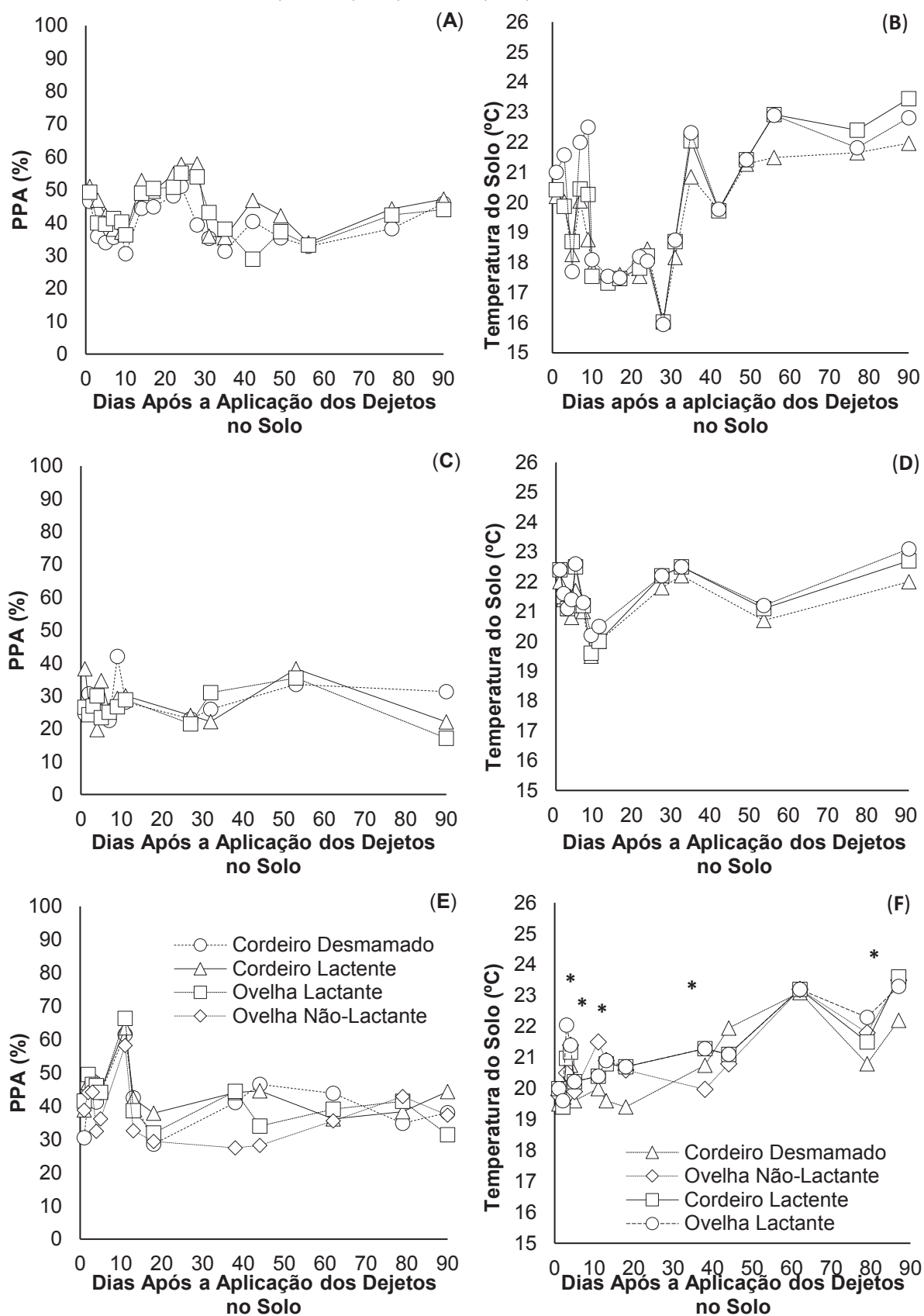
Variável (%)	Sistema Lactente		Sistema com Desmame	
	Cordeiro	Ovelha	Cordeiro	Ovelha
2014				
CH_4 FE _{fezes}	0,08 \pm 0,12	0,06 \pm 0,02	0,23 \pm 0,21	-
N_2O FE _{fezes}	0,65 \pm 1,56	0,15 \pm 0,07	0,67 \pm 0,41	-
N_2O FE _{urina}	0,85 \pm 0,97	0,22 \pm 0,06	0,68 \pm 0,67	-
2015				
CH_4 FE _{fezes}	1,62 \pm 0,19	0,07 \pm 0,02	0,23 \pm 0,21	-
N_2O FE _{fezes}	0,21 \pm 0,13	0,11 \pm 0,04	0,31 \pm 0,18	-
N_2O FE _{urina}	0,59 \pm 0,28	0,37 \pm 0,27	0,32 \pm 0,16	-
2016				
CH_4 FE _{fezes}	0,78 \pm 0,31	1,10 \pm 0,34	0,90 \pm 0,23	0,99 \pm 0,28
N_2O FE _{fezes}	1,06 \pm 0,49	1,08 \pm 0,36	0,72 \pm 0,05	0,83 \pm 0,51
N_2O FE _{urina}	0,20 \pm 0,11	0,34 \pm 0,35	0,38 \pm 0,08	0,12 \pm 0,07

NOTA: Médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem pelo teste Tukey ao nível de significância 10%.

Houve um período sem precipitação até o 10 dia após a aplicação dos dejetos em 2014; na sequência, houve um período de chuva frequente até o 25º dia, quando no 28º dia chegou ao valor máximo de PPA, seguido de 11 dias sem precipitação, quando a PPA reduziu novamente, após nova precipitação. Em 2015, o pico de PPA ocorreu após uma precipitação de 39 mm no dia anterior, da mesma forma, em 2016 os aumentos na PPA foram próximos a eventos de precipitação, como previsto.

A temperatura do solo variou de 23,5 a 16°C em 2014; 19,5 a 23,1°C em 2015, e 19,6 a 23,6 em 2016 (GRAFICO 9). A temperatura do solo tem relação com a temperatura do ambiente. A temperatura mínima observada em 2014 reflete a baixa temperatura do ambiente de 14°C, o que não é comum para este período do ano (Outubro).

GRÁFICO 9 - POROSIDADE PREENCHIDA COM ÁGUA (PPA) E TEMPERATURA DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO A PROFUNDIDADE DE 0-5 CM DAS BASES POR SISTEMAS DE PRODUÇÃO E CATEGORIA ANIMAL EM PASTAGEM MISTA DURANTE O ANO DE 2014 (A, B), 2015 (C, D) E 2016 (E, F). PINHAIS - PR



NOTA: * médias diferem pelo teste Tukey ao nível de 10% de significância

Contudo, no 11º dia após a colocação dos dejetos, a temperatura do solo nas bases localizadas em áreas com ovelhas não-lactantes foi superior ($P<0,01$) ao do sistema lactente (cordeiro e ovelha), que por sua vez foi superior ao dos cordeiros desmamados. Já no 13º e 18º dias as bases dos cordeiros desmamados foram inferiores ($P<0,01$) em relação aos demais. No 38º dia as bases das ovelhas não-lactantes foram inferiores ($P=0,05$) as demais bases. Por fim, no 73º dia as bases dos cordeiros desmamados foram inferiores ($P=0,03$) ao das ovelhas lactantes, contudo, não diferiram das ovelhas não-lactantes e dos cordeiros lactentes.

4.4 CONCLUSÕES

A urina foi a principal fonte de emissão de N_2O nos sistemas de produção a pasto. Da mesma forma as fezes também apresentaram valores significativos de emissão de CH_4 . As categorias animais (cordeiro e ovelha) e sistema de produção (desmame e lactente) não influenciaram nos resultados do FE. Os FE encontrados foram entre 36 a 74% menores que as utilizadas nos inventários de emissão de GEE.

5 CAPÍTULO V: ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DE UM LATOSSOLO DE DIFERENTES SISTEMAS PRODUÇÃO DE OVINOS EM PASTAGEM MISTA

RESUMO

Áreas pastoris possuem um grande potencial como reservatórios de CO₂, contudo, o sistema de produção afeta a dinâmica de carbono (C) e nitrogênio (N) presentes no solo. O presente estudo foi conduzido para avaliar os estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) no solo de dois sistemas de produção de ovinos em pastagem mista. O presente estudo foi realizado no Laboratório de Pesquisa e Produção de Ovinos e Caprino (LAPOC), em Pinhais (Paraná, Brasil), entre 2015 e 2017. A área experimental era de Latossolo vermelho amarelo com pastagem mista, com predominância de Tifton 85 (*Cynodon dactylon* cv. Tifton 85), *Paspalum* (*Paspalum* spp.) e Quicuí (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.), com semeadura direta de Aveia Preta (*Avena strigosa* cv. Embrapa 139) e Azevém (*Lolium multiflorum* Lam. cv. BRS Ponteiro) no inverno. Foram avaliados dois sistemas de produção a pasto de ovinos, sendo: Sistema de Produção Lactente, sem o desmame dos cordeiros, mantidos com a sua respectiva mãe em pastagem até atingir o peso de abate; Sistema de Produção com Desmame, com desmame aos 60 dias de vida do cordeiro, mantidos em pastagem e recebendo suplementação concentrada de 20 g MS.kg PC⁻¹. O método de pastejo foi contínuo, com taxa de lotação variável e oferta de forragem de 160 g MS.kg PC⁻¹.d⁻¹. Foram realizadas amostragem do solo de oito perfis (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-45, 45-60, 60-80, 80-100 cm) até 100 cm de profundidade do solo pelo método de escavação com um gabarito metálico em 2017 na área experimental e em uma área de referência (campo nativo) em 2015. Foi determinada a densidade do solo, bem como os teores de C e N no solo por perfil em um analisador elementar, para posterior cálculo dos estoques de C e N do solo. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e dois tratamentos, os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância pelo teste Tukey ao nível de significância de 10%. A densidade do solo não foi afetada pelos sistemas de produção com variação de 0,56 a 1,30 kg solo.dm⁻³. Foi observado um aumento na densidade do solo bem como nos estoques de C e N no solo entre as avaliações. Contudo, não houve diferença ($P>0,10$) entre os sistemas de produção quanto a densidade do solo e estoques de C e N. Os teores de C e N no solo variam entre 7,07 a 71,1 g C.kg solo⁻¹ e 0,11 a 5,4 g N.kg solo⁻¹. Os estoques de C não foram afetados pelos sistemas de produção até 100 cm (159 Mg C.ha⁻¹). Já os estoques de N nas camadas mais profundas foram superiores no sistema com desmame. Conclui-se que o sistema afeta a dinâmica do N, apresentando melhores resultados com o desmame dos cordeiros.

Palavras-chave: Densidade do Solo. Pastejo. Produção a Pasto. Relação C:N. Resíduo Vegetal. Sequestro de Carbono.

CARBON AND NITROGEN STOCK OF A LATOSOL OF DIFFERENT SYSTEMS PRODUCTION OF SHEEP IN MIXED GRASS

ABSTRACT

Pastoral areas have great potential as CO₂ reservoirs, however, the production system affects the dynamics of carbon (C) and nitrogen (N) present in the soil. The present study was conducted to evaluate the total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) in the soil of two systems of sheep production in mixed pasture. The present study was conducted at the Laboratory of Research and Production of Sheep and Goat (LAPOC), in Pinhais, Paraná, Brazil, between 2015 and 2017. The experimental area was of Oxisol with mixed pasture, predominantly Tifton 85 (*Cynodon dactylon* cv Tifton 85), paspalum (*Paspalum* spp.), and Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov.), with direct sowing of black oat (*Avena strigosa* cv Embrapa 139) and rygrass (*Lolium multiflorum* Lam. BRS Ponteiro) in winter. Two systems of sheep grazing production were evaluated: Suckling Production System, without weaning of lambs, kept with their respective mother on pasture until reaching slaughter weight; Weaning Production System, weaned at 60 days of lamb life, kept on pasture and receiving a concentrated supplementation of 20 g DM.kg BW⁻¹. The grazing method was continuous, with variable stocking rate and forage supply of 160 g DM.kg BW⁻¹.day⁻¹. Soil sampling was performed in eight profiles (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-45, 45-60, 60-80, 80-100 cm) up to 100 cm of soil depth by method in the experimental area and in a reference area (native field) in 2015. The soil density as well as the C and N levels in the soil by profile in an elemental subsequent calculation of the soil C and N stocks. A completely randomized design with four replicates and two treatments was used, the data obtained were analyzed by Tukey test at a significance level of 10%. Soil density was not affected by production systems ranging from 0.56 to 1.30 kg soil.dm⁻³. An increase in soil density was observed as well as in the C and N stocks in the soil between the evaluations. However, there was no difference ($P > 0.10$) between the production systems in terms of soil density and C and N stocks. The soil C and N contents ranged from 7.07 to 71.1 g C.kg soil⁻¹ and 0.11 to 5.4 g N.kg soil⁻¹. C stocks were not affected by production systems up to 100 cm (159 Mg C.ha⁻¹). On the other hand, the N stocks in the deeper layers were higher in the weaning system. It is concluded that the system affects the dynamics of the N, presenting better results with lambs weaning.

Key-words: Carbon Sequestration. Grazing. Pasture production. Relationship C:N. Plant Residue. Soil Density.

5.1 INTRODUÇÃO

Áreas de pastagem (antrópica ou nativa) compreendem aproximadamente 18,6% da superfície terrestre nacional, distribuídas em todo o território (IBGE, 2017). Aproximadamente 34% do carbono (C) global encontra-se no solo de áreas pastoris,

além de quantidades significativas na vegetação aérea (WHITE; MURRAY; ROHWEDER, 2000).

O clima exerce influência sobre os estoques do solo da pastagem, pois afeta a taxa de crescimento da vegetação, e, portanto, no acúmulo de resíduo vegetal morto e vivo, e na taxa de decomposição do carbono (ALBALADEJO *et al.*, 2013).

A alteração da vegetação natural e solo para áreas para práticas agrícolas é responsável pela alteração dos estoques de carbono e nitrogênio do solo (MUÑOZ; ZORNOZA, 2017). Estas alterações resultam na liberação ou retenção de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, isto depende do sistema de produção ao qual o solo é submetido (IPCC, 2001).

Pastagens são tradicionalmente manejadas para o aumento da produtividade da biomassa, com a finalidade de aumentar o suporte alimentar para a produção animal (EZE; PALMER; CHAPMAN, 2018). O regime de pastoreio pode influenciar os estoques, em que o pastejo excessivo pode levar a exposição do solo pela redução da biomassa, e em última instância leva a perdas por erosão, lixiviação e declínio da produtividade da pastagem (BILLOTA *et al.*, 2007; ABDALLA *et al.*, 2018). Contudo, em situações de pastejo moderado/baixo, pode ocorrer um crescimento excessivo da vegetação, e posterior senescência e acúmulo de matéria morta, além do aumento no enraizamento (FRANK; KUNS; GUIDO, 2002; TANENTZAP; COOMES, 2012).

A legislação brasileira prevê na Lei 9.985 que APA (Área de Proteção Ambiental) são proibidas a utilização de defensivos agrícolas (agrotóxicos, herbicidas e inseticidas) nestas áreas (BRASIL, 2000). Esta restrição interfere no controle de plantas de crescimento espontâneo em áreas de pastagem destinadas a produção animal, aumentando assim a biodiversidade da área.

Em ambientes com múltiplas espécies formadoras da pastagem, as dinâmicas da biomassa, além dos efeitos diretos e indiretos do sistema de produção, geram uma matriz complexa de efeitos que ocorrem simultaneamente. A suplementação dos animais pode alterar a interação planta-animal, em função da substituição da ingestão de forragem por suplemento, alterando assim o dossel forrageiro. Para tanto, afetando a qualidade da MO no solo, que a longo prazo resultaria em estoques de C e N superiores.

Neste sentido, o presente estudo avaliou os estoques de carbono orgânico e nitrogênio no solo de dois sistemas de produção de ovinos em pastagem mista.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Condições Experimentais

As condições experimentais, delineamento experimental e manejo da pastagem encontram-se descritos nas seções 3.2.1 (p. 39), 3.2.2 (p. 40) e 3.2.3 (p. 40) respectivamente.

O tifton-85 (*C. dactylon* cv. Tifton 85) foi implantado em 2002 e desde então foi manejado com sistemas de produção com alta oferta de forragem (120 a 160 g MS.kg PC⁻¹.d⁻¹) com e sem desmame, com e sem suplementação dos cordeiros. Sendo realizado anualmente o plantio direto de azevém (*L. multiflorum* Lam.) nesta área.

5.2.2 Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo

5.2.2.1 Amostragem

A amostragem do solo foi realizada em dois pontos de coleta por piquete da área experimental, além da amostragem em dois pontos de uma área de referência de campo nativo localizada a 950 m da área experimental, a área foi escolhida em função das características da vegetação natural da região antes da ação antrópica. Foram coletadas as camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-45, 45-60, 60-80 e 80-100 cm. Até 30 cm de profundidade, as camadas de solo foram amostradas com o auxílio de espátulas, através da abertura de uma trincheira com dimensões de 25 x 50 cm, delimitadas por um gabarito metálico ancorado na superfície do solo. Placas de metal foram usadas para delimitar com precisão a profundidade de 5, 10, 20 e 30 cm e para garantir que as paredes laterais da trincheira permaneçam no prumo e o fundo nivelado. As camadas entre 30 e 100 cm de profundidade foram amostradas com o auxílio de um escavador tipo parafuso, com um diâmetro de 21 cm. O solo removido de cada camada foi pesado no campo em balança de digital de mesa com bateria Titan (Vitec Germany).

5.2.2.2 Umidade e Densidade do Solo

A umidade gravimétrica foi determinada a partir de uma subamostra coletada, sendo pesada 20 g de solo em balança semianalítica Mark 2200 (Bel Engineering®, Monza, Itália), e secas em estufa de ventilação forçada a 105°C por 24h no Laboratório de Física do Solo pertencente ao Departamento de Solos da UFPR. A umidade do solo (g.kg^{-1}) foi determinado pela relação entre a massa seca e a massa original de solo.

A densidade do solo (kg.dm^{-3}) foi determinado pela relação entre o volume da camada do solo (dm^3) e a massa de solo seca (kg) de cada camada do solo amostrada, com base nos princípios do método de escavação para a determinação da densidade (BLAKE; HARTGE, 1986), conforme seguinte equação:

$$Ds = Ms \times V \quad (\text{EQUAÇÃO 10})$$

5.2.2.3 Teor de Carbono e Nitrogênio do Solo

Para a determinação os teores de carbono orgânico total (COT, g.kg^{-1}) e nitrogênio total (NT, g.kg^{-1}) no solo, as amostras foram secas ao ar em peneira de 2 mm, moídas em um moinho modelo RM-200 (Retsch, Alemanha) até passarem por uma peneira de 0,25 mm no Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos, UFPR. Após as amostras de solo foram pesadas 26 μg em uma microbalança M2P (Satorius, Göttingen, Alemanha) e encapsuladas com folha quadrada de estanho (37 x 37 mm) (Elemental Microanalyses, Okehampton, Reino Unido). Então o COT e o NT foram determinados por combustão a seco em analisador elementar Vario EL III (Elementar Analysensysteme GmbH, Alemanha) no Laboratório de Biogeoquímica, Departamento de Solos, UFPR.

A relação carbono:nitrogênio no solo por camada foi calculado dividindo-se a concentração de C no solo da camada em questão pela concentração de N da mesma.

5.2.2.4 Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo

O estoque de carbono (ECS) e do nitrogênio do solo (ENS) do horizonte foi calculado com base na seguinte equação (FIDALGO et al., 2007):

$$ECS = \frac{COT \times \left(\frac{Ds}{M}\right)}{1.000} \quad (\text{EQUAÇÃO 11})$$

Em que ECS é o estoque de C do solo (Mg C.ha^{-1}), COT é a concentração de carbono no solo (g C.kg solo^{-1}); Ds é a densidade do solo (kg MS.dm^{-3}); e M é a massa seca de solo no horizonte (kg MS). Para o ENS foi utilizada a mesma equação, exceção da utilização do teor de NT (g N.kg solo^{-1}) em substituição ao COT .

O estoque de carbono e do nitrogênio acumulado do solo é a quantidade de Carbono (C) no solo até o horizonte em questão. Em que:

$$\sum_{i=1}^n ECS = \sum ECS_{i-1} + ECS_i \quad (\text{EQUAÇÃO 12})$$

Em que, o $\sum ECS$ é a soma dos estoque de carbonos do solo (Mg C.ha^{-1}) de todos os horizonte até o perfil i ; Em que $\sum ECS_{i-1}$ é a soma do estoque de carbono do solo até o perfil anterior ao perfil i ; e por fim o ECS_i é o estoque de carbono do solo do perfil i . Da mesma forma, para o $\sum ENS$ (Mg N.ha^{-1}) para o seu cálculo foi utilizada a mesma equação, mas foi utilizado os valores de ENS (Mg N.ha^{-1}) em substituição ao ECS .

5.2.3 Correção para Compactação do Solo

Para corrigir o efeito da compactação do solo em função da ação antrópica, os estoques de C e N no solo foram ajustados pelo teor de C e N total no mesmo peso de solo presente a 100 cm de profundidade em uma área de campo nativo adjacente a área experimental. Foram coletados dois pontos amostrais de solo da mesma forma que na área experimental, sendo considerada a média dos dois pontos. Assumindo que o efeito da compactação do solo foi mais significativo nas camadas mais superficiais, onde os estoques de C e N foram subtraídos o conteúdo total de C e N do peso extra no perfil mais profundo (80-100 cm), conforme a seguinte equação (SISTI *et al.*, 2004):

$$C_s = \sum_{i=1}^{n-1} C_{T_i} + \left[M_{T_n} - \left(\sum_{i=1}^n M_{T_i} - \sum_{i=1}^n M_{S_i} \right) \right] C_{T_n} \quad (\text{EQUAÇÃO 13})$$

Em que:

C_s é o estoque de carbono total (Mg.ha^{-1}) no solo até uma profundidade equivalente à mesma massa de solo que no perfil de referência (campo nativo); $\sum_{i=1}^{n-1} C_{T_i}$ é a soma do estoque de C da primeira à penúltima camada (Mg.ha^{-1}); M_{T_n} é a massa de solo na camada mais profunda na área de referência (Mg); $\sum_{i=1}^n M_{T_i}$ é a soma da massa de solo da primeira até a camada mais profunda do tratamento (sistema de produção, Mg.ha^{-1}); $\sum_{i=1}^n M_{S_i}$ é a soma da massa de solo da primeira até a camada mais profunda da área de referência (campo nativo, Mg.ha^{-1}); e C_{T_n} é a concentração de C na camada mais profunda (Mg C.Mg solo^{-1}).

As coletas foram realizadas na área experimental em 17 de fevereiro de 2017, já a coleta na área de referência (campo nativo) em 14 de março de 2015.

5.2.4 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 10%, utilizando o *software* estatístico Sisvar v 5.6, de acordo com a EQUAÇÃO 7 (p. 45).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Densidade do Solo

Não foi observada diferença estatística ($P > 0,10$) entre as densidades do solo das camadas nos dois sistemas de produção e nos dois anos avaliados (TABELA 6). Os valores médios de densidade do solo variavam de $0,56 \text{ kg solo.dm}^{-3}$ na camada mais superficial a $1,30 \text{ kg solo.dm}^{-3}$ na camada mais profunda.

As baixas densidade do solo na camada mais superficial (0-5 cm) observadas se deve provavelmente ao alto nível de enraizamento das forrageiras, em função da competição entre as espécies forrageiras, e aos teores de C mais elevados (FUJISAKA et al., 1998; COSTA et al., 2004; COSTA et al., 2009).

Segundo Goedert, Schermack e Freitas (2002) os valores entre 0,7 e 1,0 kg.dm⁻³ são normais em Latossolo, para tanto, os dados obtidos estão próximos a estes nas camadas mais superficiais (<30 cm) o que demonstra a sustentabilidade dos sistemas avaliados. Em situação de densidades elevadas do solo, ocorre restrição do crescimento radicular e à infiltração de água no solo (FONSECA et al., 2007).

O aumento da densidade do solo ocorre em função da mudança no uso do solo pela redução dos agregados do solo (BAYER et al., 2006). Era esperado uma maior compactação do solo superficialmente o que não ocorreu. Frequentemente, está compactação é observada em função do pisoteio dos animais e ao tráfego de máquinas e implementos agrícolas, para plantio da pastagem de inverno e adubação nitrogenada (REINERT et al., 2008). Provavelmente, em função do menor peso corporal dos animais, em relação a bovinos, bem como, a baixa intensidade de pastejo e frequência de entrada de máquinas agrícolas, não foi observada uma compactação superficial do solo.

TABELA 6 - DENSIDADE DO SOLO (kg.dm⁻³) POR PERFIL DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA E CAMPO NATIVO. PINHAIS - PR

Profundidade do Solo	Sistemas de Produção		Campo Nativo
	Desmame	Lactente	
0-5 cm	0,56 ± 0,08	0,60 ± 0,09	0,50 ± 0,05
5-10 cm	0,94 ± 0,11	1,04 ± 0,12	0,91 ± 0,10
10-20 cm	1,02 ± 0,09	0,98 ± 0,09	0,88 ± 0,01
20-30 cm	1,10 ± 0,08	1,06 ± 0,07	0,97 ± 0,05
30-45 cm	1,15 ± 0,31	0,96 ± 0,28	1,61 ± 0,02
45-60 cm	1,30 ± 0,25	1,16 ± 0,24	1,61 ± 0,02
60-80 cm	1,21 ± 0,12	1,11 ± 0,05	1,22 ± 0,03
80-100 cm	1,27 ± 0,14	1,11 ± 0,12	1,25 ± 0,04

5.3.2 Teores de Carbono e Nitrogênio do Solo

As maiores concentrações de C e N no solo foram observadas nas camadas mais superficiais do reduzindo consideravelmente conforme a profundidade do solo aumenta (GRÁFICO 10). Não foi observada diferenças estatística entre os sistemas de produção nas camadas avaliadas ($P < 0,10$).

As concentrações de C observadas no presente trabalho são superiores as descritas por Pinto et al. (2014) com concentração máxima de 32 g C.kg em um Latossolo vermelho com pastagem de *U. brizantha* solteira e consorciado com *Arachis pintoii* ou *Stylosanthes guianensis*.

Os teores de C do solo nas áreas pastoris foram maiores em relação ao da área de referência (campo nativo), exceto nas camadas mais profundas. A literatura diverge quando sobre a diferença entre a concentração de C entre pastagem e áreas de referência. Alguns autores observaram que em áreas de pastagens os estoques de carbono foram semelhantes ao da área de referência, portanto, o C derivado da pastagem substituiu o material original da floresta (COSTA et al., 2009; CERRI et al., 1996; NEILL et al., 1996). Embora alguns trabalhos mostrem estoques mais elevados em mata nativa em relação a pastagem (VAN NOORDWIJK et al., 1997).

O aumento dos estoques de C encontrado é atribuído à maior produtividade primária líquida das pastagens, resultando em maiores entradas de C na superfície e no solo (PILLAR, TORNQUIST, BAYER, 2012).

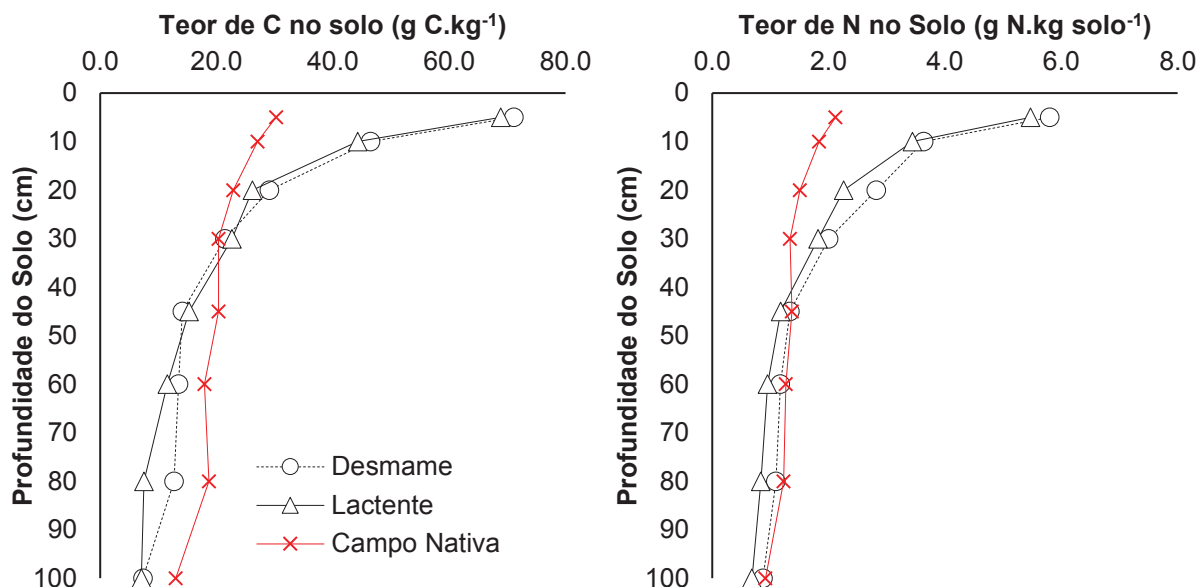
Os teores de N do solo não diferiram em função do sistema de produção por camada avaliada, variando de 0,11 a 5,4 g N.kg solo⁻¹ (GRAFICO 10). Houve uma tendência de redução da concentração de N com o aumento da profundidade do solo, isto também foi observado por Rangel et al. (2008) e Calvelo Pereira et al. (2015).

Os dados mostram um aumento nos teores de N nas camadas mais superficiais do solo, este resultado era esperado, uma vez que a cobertura vegetal do solo deveria proteger contra as perdas de N do solo (LIMA et al., 2018). Da mesma forma que o C, a concentração de N da área de referência (Campo Nativo) foi menor que a das áreas pastoris cultivada nas camadas mais superficiais do solo, sendo semelhantes nas camadas profundas (>30 cm).

A relação C:N do solo, independente da profundidade, variou entre 8 e 13, sem diferenças ($P < 0,10$) entre os sistemas de produção a pasto. Entretanto, na área de campo nativo as relações foram mais elevadas, sendo entre 14 e 15 C:N, com menor variação entre as camadas do solo.

A relação C:N é um indicador da decomposição da MOS, dando informação sobre o estado de humificação. Em Latossolos esta relação indica a atividade biológica, com maior grau de humificação e estabilidade da matéria orgânica e valores ideais da relação C:N. Relações C:N entre 10-12, como observado no presente estudo, pode ser consequência da decomposição dos resíduos pelos organismos do solo, o que acarreta maior grau de humificação do solo e menor suscetibilidade do resíduo ao ataque microbiano (CARNEIRO et al., 2013).

GRÁFICO 10 - CONCENTRAÇÕES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM DIFERENTES SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA E EM CAMPO NATIVO. PINHAIS - PR



O decréscimo na relação C:N nas camadas mais profundas do solo já foi observada por Mello et al. (1983), mas a intensidade da redução é variável e depende do tipo do solo. Raposo (2013) observou relação C:N em média de 9,5 até 30 cm de profundidade em um Latossolo vermelho-escuro eutrófico com capim xaraés (*U. brizantha* cv. Xaraés) sob pastejo rotativo de vacas leiteiras.

TABELA 7 - RELAÇÃO CARBONO:NITROGÊNIO EM UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM DIFERENTES SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA E EM CAMPO NATIVO. PINHAIS - PR

Profundidade do Solo	Sistemas de Produção		Campo Nativo
	Desmame	Lactente	
0-5 cm	12,3	12,6	14,3
5-10 cm	12,8	12,9	14,7
10-20 cm	10,3	11,6	15,2
20-30 cm	10,7	12,5	15,2
30-45 cm	10,5	13,0	14,8
45-60 cm	11,5	12,1	14,2
60-80 cm	11,6	9,0	15,2
80-100 cm	8,4	10,3	14,2

5.3.3 Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo

Os estoques acumulados de C e N no solo são apresentados na TABELA 7, não foram observadas diferenças estatísticas entre sistemas de produção ($P>0,10$). Mas pode-se observar o acúmulo de C no solo nas camadas mais superficiais,

contudo, nas camadas intermediárias e profundas os estoques são mais elevados no campo nativo.

Os estoques de C do solo nas áreas pastoris foram inferiores nas camadas mais profundas (>30 cm) em relação a área de referência (campo nativo), contudo, nas camadas mais superficiais (<10cm) foram até 59% maiores em relação ao campo nativo. Esta diferença pode estar associada ao adensamento das raízes nas áreas de pastagem, e pelo aumento da taxa de degradação da MOS. A maior cobertura vegetal em áreas pastoris manejadas em relação aos campos nativos pode proporcionar maior retenção de água no solo, o teor de água do solo fornece condições favoráveis para a atividade microbiana que intensificam a decomposição da matéria orgânica (MO) microbiana e mineralização de carbono (SEGNINI et al., 2019).

O IPCC recomenda que os estoques de C sejam avaliados em camadas profundas do solo (até 1 m) quando se avalia os efeitos do manejo sob o solo em pastagens tropicais nas quais gramíneas apresentam sistemas radiculares profundos. Quando observamos os dados obtidos, nas camadas mais superficiais (0-30 cm) encontram-se em média apenas 60,1% do estoque, enquanto 39,8% encontra-se apenas entre 30-100 cm do solo, isto mostra a importância da amostragem de camadas profundas do solo.

O estoque de C foi superior ao descrito por Conceição et al. (2007) para áreas de pastagem de baixa oferta de forragem (12 - 16 kg MS.kg PC⁻¹.d⁻¹) no Rio Grande do Sul, apresentando média 140 Mg C.ha⁻¹, sendo que no presente estudo variou de 191,4 a 201,1 Mg C.ha⁻¹. A oferta de forragem é um importante fator que interfere nos estoques de C do solo, em situação de alta pressão de pastejo, os estoques de C foram 35% inferiores as de baixa-média pressão de pastejo. Em geral, os solos de pastagem temperada são tipicamente ricos em C por causa da rizodeposição no solo (JONES; DONELLY, 2004), o que explicaria os valores mais elevados de C.

Os resultados evidenciam a capacidade de retenção de C pelo solo em área de pastagem, isto é, de suma importância, pois ruminante são reconhecidos pelas emissões de CH₄ em função da fermentação ruminal, para tanto, o aumento dos estoques de carbono e nitrogênio pelo solo tem grande potencial para equilibrar a balança das emissões líquidas dos GEE (STEINFELD et al., 2006; CONANT et al., 2010).

Os estoques de N acumulado no solo são apresentados na TABELA 8, os valores variaram entre 1,6 a 18,2 Mg N.ha⁻¹. Não foram observadas diferenças

estatísticas entre sistemas de produção nas camadas amostradas em 2014 ($P>0,10$). Contudo, em 2017 nas camadas mais profundas do solo (45-100 cm), o sistema de produção com desmame dos cordeiros foi superior ($P<0,10$) ao sistema lactente de produção de cordeiros. Esta diferença pode estar associada ao hábito de pastejo dos animais, Faisca (2017) e Peres (2018), descrevem que a concentração de proteína nos bocados dos cordeiros no sistema de produção lactentes contém maior concentração de PB, e, portanto, maior quantidade de N. Isto em última instância, pode levar uma redução da concentração N na MOS depositada no solo após a senescência da pastagem, que por fim determinaria valores de estoque de N inferiores.

TABELA 8 - ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CORDEIROS EM PASTAGEM MISTA E EM CAMPO NATIVO. PINHAIS - PR

Profundidade	Sistema de Produção		Campo Nativo
	Desmame	Lactente	
Estoque Acumulado de Carbono (Mg C.ha ⁻¹)			
0-5 cm	19,8 ± 1,1	19,8 ± 1,3	11,8 ± 1,5
5-10 cm	50,7 ± 4,1	50,3 ± 3,2	26,5 ± 6,2
10-20 cm	83,6 ± 9,3	82,7 ± 6,1	48,2 ± 6,0
20-30 cm	97,0 ± 15,6	94,3 ± 5,4	69,6 ± 2,2
30-45 cm	122,6 ± 21,2	119,0 ± 11,3	109,4 ± 14,1
45-60 cm	137,2 ± 24,8	131,5 ± 19,8	147,0 ± 18,8
60-80 cm	153,2 ± 38,1	163,6 ± 21,8	196,2 ± 47,3
80-100 cm	163,6 ± 42,3	154,7 ± 27,7	232,6 ± 33,9
Estoque Acumulado de Nitrogênio (Mg N.ha ⁻¹)			
0-5 cm	1,6 ± 0,3	1,6 ± 0,3	0,8 ± 0,1
5-10 cm	4,0 ± 0,2	3,8 ± 0,2	1,8 ± 0,3
10-20 cm	6,5 ± 0,6	5,8 ± 0,5	3,2 ± 0,5
20-30 cm	8,5 ± 0,9	7,6 ± 0,7	4,7 ± 0,5
30-45 cm	11,1 ± 1,2	9,9 ± 1,0	7,3 ± 0,5
45-60 cm	13,5 ± 1,7	11,8 ± 1,4	10,0 ± 1,7
60-80 cm	16,3 ± 2,2 a	14,8 ± 1,7 b	13,2 ± 4,0
80-100 cm	18,2 ± 1,9 a	16,6 ± 1,6 b	15,8 ± 5,5

NOTA: * médias diferem pelo teste Tukey ao nível de 10% de significância

5.4 CONCLUSÕES

Os sistemas de produção não afetaram a densidade do solo, concentrações de C e N e; estoques de C do solo. O sistema de produção com desmame apresentou maiores estoques de N nas camadas mais profundas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para se atender a demanda mundial por alimento projeto, é inegável que a produção animal deverá encontrar os melhores caminhos para se produzir com eficiência produtiva e ambiental. Por isto, a importância do esclarecimento dos processos envolvidos em sistema pastoris.

Sistemas produtivos eficientes serão aqueles que irão produzir preocupados com a balança entre produtividade vegetal, a forrageira, que é base da alimentação animal, e o impacto sobre os fluxos de C e N no solo.

A dinâmica dos fluxos dos gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) das áreas pastoris, pode-se observar que as práticas resultaram em baixos fluxos dos gases. Contudo, também foi observada variações ao longo do tempo, que necessitam de melhores esclarecimentos sobre os processos envolvidos que determinam as emissões. Ocorreram picos isolados de emissão em função da entrada no sistema de N mineral.

Os dejetos dos animais afetaram significativamente os fluxos de emissão do CH_4 e N_2O do solo, contudo, resultados mostram que os valores utilizados nos inventários de emissões de gases de efeito estufa, há de se repensar nos padrões atualmente utilizados, visto que, outros trabalhos também observaram esta diferença, podendo estar superestimando as emissões nos inventários.

Observou-se também que os picos de emissão ocorreram entre o primeiro e o quinto dia após aplicação dos dejetos no solo e da adubação nitrogenada, para, tanto seria recomendável aumentar a concentração das coletas nestes dias, talvez sendo necessário ampliar para duas coletas no mesmo dia, até o quinto dia após a aplicação do dejetos, para evitar superestimativas das emissões.

O sistema de produção com desmame dos cordeiros mostrou melhor potencial como mitigador de gases de efeito estufa, permitindo, uma dinâmica dos estoques de N do solo com melhores resultados.

Ainda se faz necessário avaliar o real valor do Potencial de Aquecimento Global desses sistemas produtivos, pois, este trabalho não contemplou todas as fontes de emissões de gases (metano ruminal e custos operacionais). Bem como avaliações a longo prazo dos estoques de C e N do solo. Mas, esta tese mostra que existe um potencial de que os sistemas de produção aqui avaliados de ovinos em pastagem, sejam potenciais mitigadores de gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M.; et al. Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil quality indicators in extensively managed grasslands. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 253, p. 62-81, 2018. DOI: 10.1016/j.agee.2017.10.023.
- ABDALLA, M.; et al. Nitrous oxide fluxes and denitrification sensitivity to temperature in Irish pasture soils. **Soil Use and Management**, Hoboken, v. 25, n. 4, p. 376-388, 2009. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2009.00237.x.
- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. *In*: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 1-35.
- ALARI, F. O. **Fluxo de Gases de Efeito Estufa na Implantação de Sistema Silvopastoril em Pastejo com Ovinos**. 2016. 114p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2016.
- ALLARD, V.; et al. The role of grazing management for the net biome productivity and greenhouse gas budget (CO₂, N₂O, and CH₄) of semi-natural grassland. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 121, p. 47-58, 2007. DOI: 10.1016/j.agee.2006.12.004
- ALLEN, A. G.; et al. Nitrous oxide emissions from soils due to inputs of nitrogen from excreta return by livestock on grazed grassland in the UK. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 28 p. 597-607, 1996. DOI: 10.1016/0038-0717(95)00186-7
- ALMEIDA, A. M. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo sob pastagens e fragmentos de floresta atlântica em regeneração (RJ)**. 2010. 79p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental), Universidade Federal Fluminense, 2010.
- ARAÚJO, E. A.; et al. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 41, n. 1, 2011. DOI: 10.1590/S0044-59672011000100012
- ARRHENIUS, S. XXXI. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. **Philosophical Magazine Series 5**, Londres, v. 41, n. 251, 1896. DOI: 10.1080/14786449608620846
- BAGGS, E. M.; et al. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. **Plant and Soil**, Berlim, v. 254, n. 2, p. 361-370, 2003. DOI: 10.1023/A:1025593121839.

- BANNINK, A.; et al. Simulating the effects of grassland management and grass ensiling on methane emission from lactating cows. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 148, n. 1, p. 55-72, 2010. DOI: 10.1017/S0021859609990499.
- BARROS, C. S.; et al. Rentabilidade da produção de ovinos de corte em pastagem e em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 11, p. 2270-2279, 2009a. DOI: 10.1590/S1516-35982009001100029.
- BARROS, C. S.; et al. Resultado econômico da produção de ovinos para carne em pasto de azevém e confinamento. **Acta Scientiarum. Animal Science**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 77-85, 2009b. DOI: 10.4025/actascianimsci.v31i1.3995.
- BATJES, N. H. Mitigation of atmospheric CO₂ concentration by increased carbon sequestration in the soil. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 27, p. 230-235, 1998. DOI: 10.1007/s003740050425.
- BAUER, C.; et al. Methanogens in biogas production from renewable resources - a novel molecular population analysis approach. **Water Science and Technology**, London, v. 58, n. 7, p. 1433-1439, 2008. DOI: 10.2166/wst.2008.514.
- BAYER, C.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A. Soil organic matter regulating greenhouse gases in tropical and subtropical environments: a comparison between integrated crop-livestock and annual cropping systems. In: International Symposium on Integrated Crop-Livestock Systems, 2., 2012, Porto Alegre. **Anais...** International Symposium on Integrated Crop-Livestock Systems, 2012.
- BENECH, A. et al. Transient apnoea in sheep: an alternative method for serial urine sample collection. **Veterinarski Arhiv**, Zagreb, v. 85, n. 3, p. 293-307, 2015.
- BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 13, n. 4, p. 954-968, 2012. DOI: 10.1590/S1519-99402012000400010.
- BILOTTA, G. S.; BRAZIER, R. E.; HAYGARTH, P. M. The Impacts of Grazing Animals on the Quality of Soils, Vegetation, and Surface Waters in Intensively Managed Grasslands. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 94, p.237-280, 2007. DOI: 10.1016/S0065-2113(06)94006-1
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of Soil Analysis: Part 1 - Physical and Mineralogical Methods**. 2 ed. Madison: Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy - Soil Science Society of America, p. 363-382, 1986.
- BODDEY, R. M.; et al. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, Hoboken, v. 16, n. 2, p. 784-795, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.02020.x.
- BOL, R. et al. Short-term N₂O, CO₂, NH₃ fluxes, and N/C transfers in a Danish grass-clover pasture after simulated urine deposition in autumn. **Journal of Plant Nutrition**

and Soil Science, Hoboken, v. 167, p. 568-576, 2004. DOI: 10.1002/jpln.200321334.

BONETI, J. A.; ANGHINONI, I.; ZULPO, L. Temperatura e umidade do solo em sistema de integração soja-bovinos de corte com diferentes manejos da altura do pasto. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 11-21, 2017. DOI: 10.5380/rsa.v18i2.51150.

BOUWMAN, A. F. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Berlin, v. 46, n. 1, 1996, p. 53-70, 1996. DOI:10.1007/BF00210224.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Efeito Estufa e a Convenção sobre Mudança do Clima**. Brasília: MTCTI, 1999. 38p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2ª Ed. Brasília: MCTI, 2014. 161p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissão de gases de efeito estufa no Brasil**. 4ª Ed. Brasília: MCTI, 2017. 89p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**. Brasília: MTCTI, 1994. 86p.

BRAZ, S. P.; et al. Soil carbon stock under productive and degraded *Brachiaria* pasture in the Brazilian cerrado. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 77, n. 3, p. 914, 2013. DOI:10.2136/sssaj2012.0269.

BRITO, L. F.; et al. Seasonal Fluctuation of Soil Carbon Dioxide Emission in Differently Managed Pastures. **Agronomy Journal**, Madison, v. 107, n. 3, p. 957, 2015. DOI: 10.2134/agronj14.0480

BROUČEK, J. Methane yield from cattle, sheep, and goats, housing with emphasis on emission factors: A Review. **Slovak Journal of Animal Science**, Lužianky, v. 48, n. 3, p. 122-139, 2015.

BRÜMMER, C.; et al. Soil-atmosphere exchange of N₂O and NO in near-natural savanna and agricultural land in Burkina Faso (W. Africa). **Ecosystem**, Berlin, v. 11, p. 582-600, 2008. DOI: 10.1007/s10021-008-9144-1

BUSSINK, D.; OENEMA, O. Ammonia volatilization from dairy farming systems in temperate areas: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Berlin, v. 51, p. 19-33, 1998. DOI: 10.1023/A:1009747109538

BUSTAMANTE, M. M. C.; et al. Soil carbon and sequestration potential in the Cerrado Region of Brazil. In: LAL, R.; et al. (Eds) **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Food Products Press, 2006. p. 285-304.

BUTTERBACH-BAHL, K.; et al. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, London, v. 368, n. 1621, p. 20130122, 2013. DOI: 10.1098/rstb.2013.0122

CALVELO PEREIRA, R.; et al. Net changes of soil C stocks in two grassland soils 26 months after simulated pasture renovation including biochar addition. **GCB Bioenergy**, Hoboken, v. 8, n. 3, p. 600-615, 2016. DOI: 10.1111/gcbb.12271

CARBONE, M. S.; et al. Seasonal and episodic moisture controls on plant and microbial contributions to soil respiration. **Oecologia**, Berlin, v. 167, p. 265-278, 2011. DOI: 10.1007/s00442-011-1975-3

CARDENAS, L. M.; et al. Effect of the application of cattle urine with or without the nitrification inhibitor DCD, and dung on greenhouse gas emissions from a UK grassland soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 235, p. 229-241, 2016. DOI: 10.1016/j.agee.2016.10.025

CARDOSO, A. N.; SAMINEZ, T. C.; VARGAS, M. A. Fluxo de Gases-traço de Efeito Estufa na Interface Solo/Atmosfera em Solos de Cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - Embrapa Cerrados**, Planaltina, n. 17, p. 1-23. 2001.

CARDOSO, A.; et al. Impact of grazing intensity and seasons on greenhouse gas emissions in tropical grassland. **Ecosystems**, Berlin, v. 20, n. 4, p. 845-859, 2017. DOI: 10.1007/s10021-016-0065-0

CARDOSO, E. L.; et al. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 1028-1035, 2010.

CARNEIRO, W. J. de O.; et al. Mineralização de nitrogênio em latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 715-725, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000300018

CARTER, M. S. Contribution of nitrification and denitrification to N₂O emissions from urine patches. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 39, n. 8, p. 2091-2102, 2007. DOI: 10.1016/j.soilbio.2007.03.013

CASSANDRO, M.; MELE, M.; STEFANON, B. Genetic aspects of enteric methane emission in livestock ruminants. **Italian Journal of Animal Science**, Londres, v. 12, p. 450-458, 2013. DOI: 10.4081/ijas.2013.e73

CERRI, C. C.; et al. Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in America Latin. In: LAL, R. et al. (Eds.) **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Food Products Press, 2006. p. 41-47.

CERRI, C. C.; et al. Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia. In: ALVAREZ V., et al. (Ed). **Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.61-69.

CERRI, C. C.; et al. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 1, p. 102-116, 2010. DOI: 10.1590/S0103-90162010000100015.

CERRI, C.C.; et al. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009. DOI: 10.1590/S0103-90162009000600017.

CHADWICK, D. R.; et al. The contribution of cattle urine and dung to nitrous oxide emissions: Quantification of country specific emission factors and implications for national inventories. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 635, p. 607-617, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.152

CHANTON, J. P.; et al. Radiocarbon evidence for the substrates supporting methane formation within northern Minnesota peatlands. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v. 59, n. 17, p. 3663-3668, 1995. DOI: 10.1016/0016-7037(95)00240-Z

CHEN, D.; et al. N₂O emissions from agricultural lands: A synthesis of simulation approaches. **Plant and Soil**, Berlin, v. 309, p. 169-189, 2008. DOI: 10.1007/s11104-008-9634-0.

CHIAVEGATO, M. B.; et al. Pasture-derived greenhouse gas emissions in cow-calf production systems. **Journal of Animal Science**, Oxford, v. 93, p. 1350-1364, 2015. DOI: 10.2527/jas.2014-8134.

CHOUDHARY, M. A.; AKRAMKHANOV, A.; SAGGAR, S. Nitrous oxide emissions from a New Zealand cropped soil: tillage effects, spatial and seasonal variability. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 93, p. 33-43, 2002. DOI: 10.1016/S0167-8809(02)00005-1.

CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil: structure, function and turnover**. Tjele: DIAS, 2000. p. 95.

CIAIS, P.; et al. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. *In*: Stocker, T. F.; et al (Eds.) **Climate Change 2013: The physical science basis**. contribution of working Group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013; p. 465-570. ISBN: 978-1-107-66182-0.

COELHO, M. M. **Estudo da respiração do solo em floresta de transição no Sudoeste da Amazônia**. 2005, 46p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

CONANT, R. T. **Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems: A technical report on grassland management and climate change mitigation**. Roma: FAO, 2010.

CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological Applications**, Hoboken, v. 11, n. 2, p. 343-355, 2001. DOI: 10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIGunette2.0.CO;2

CONRAD, R. Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases (H₂, CO, CH₄, OCS, N₂O, and NO). **Microbiology Reviews**, Washington, DC, v. 60, n. 4, p. 609-640, 1996.

COSTA, F. S.; et al. Diurnal variation of methane emission from a paddy field under rice cultivation in the Southern Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 2049-2053, 2008. DOI: 10.1590/S0103-84782008000700041.

DAKPO, K. H.; JEANNEAUX, P.; LATRUFFE, L. Greenhouse gas emissions and efficiency in French sheep meat farming: A non-parametric framework of pollution-adjusted technologies. **European Review of Agricultural Economics**, Oxford, v. 44, n. 1, p. 33-65, 2017. DOI: 10.1093/erae/jbw013.

DAS, S.; et al. Microbial activity determining soil CO₂ emission in the Sundarban mangrove forest, India. **Tropical Ecology**, Varanasi, v. 58, n. 3, p. 525-537, 2017. DOI: 10.1080/01490451.2011.605988.

DIJKSTRA, J.; et al. Diet effects on urine composition of cattle and N₂O emissions. **Animal**, Cambridge, v. 7, p. 292-302, 2013. DOI: 10.1017/S1751731113000578.

DIJKSTRA, J.; OENEMA, O.; BANNINK, A. Dietary strategies to reducing N excretion from cattle: Implications for methane emissions. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, Amsterdam, v. 3, p. 414-422, 2011. DOI: 10.1016/j.cosust.2011.07.008.

DUNFIELD, P.; KNOWLES, R. Kinetics of inhibition of methane oxidation by nitrate, nitrite, and ammonium in a humisol. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, DC, v. 61, p. 3129-3135, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Brasília: EMBRAPA Solos, 2018. 50p.

EZE, S.; PALMER, S. M.; CHAPMAN, P. J. Soil organic carbon stock in grasslands: Effects of inorganic fertilizers, liming and grazing in different climate settings. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 223, p. 74-84, 2018. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.06.013

FAISCA, L. D. **Impacto dos sistemas de terminação de cordeiros a pasto sobre o comportamento ingestivo e a seleção alimentar**. 76 f. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

FERNANDES, S. R.; et al. Desmame precoce e a suplementação concentrada no peso ao abate e nas características de carcaça de cordeiros terminados em pastagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 12, p. 527-537, 2011.

FERNANDES, S. R.; et al. Performance, carcass traits and costs of Suffolk lambs finishing systems with early weaning and controlled suckling. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 184-192, 2014. DOI: 10.1590/S0034-737X2014000200005

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. **Medidas de Fluxo de CO₂ de Solos pelos Métodos da Absorção Alcalina e Analisador de Gás Infravermelho em Diferentes Sistemas de Manejo no Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 151, 2005. 28p.

FERREIRA, S. F.; et al. Característica fecal de bovinos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 11, n. 20, 2013.

FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E. A. Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. *In*: ANDREA, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (Eds.) **Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere**. Chichester: John Wiley & Sons, 1989. p. 7-21.

FLECHARD, C. R.; et al. Effects of climate and management intensity on nitrous oxide emissions in grassland systems across Europe. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 121, p. 135-152, 2007. DOI: 10.1016/j.agee.2006.12.024

FONSECA, G. C.; et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v. 37, n. 1, p. 22-30. 2007.

FOWLER, D.; et al. Atmospheric composition change: ecosystems-atmosphere interactions. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 43, n. 33, p. 5193-5267, 2009. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.07.068.

FRANÇA, A. B.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C. F.; et al. Bakery waste in sheep diets: intake, digestibility, nitrogen balance and ruminal parameters. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 1, p. 147-153, 2012. DOI: 10.1590/S1516-35982012000100022

FRANK, D. A.; KUNS, M. M.; GUIDO, D. R. Consumer control of grassland plant production. **Ecology**, Hoboken, v. 83, n. 3, p. 602, 2002. DOI: 10.2307/3071865

FUJISAKA, S.; et al. The effects of forest conversion on annual crops and pasture: Estimates of carbon emissions and plant species loss in Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 69, n. 1, p. 17-26, 1998. DOI: 10.1016/S0167-8809(98)00091-7

FUJISAKI, K. et al. From forest to cropland and pasture systems: a critical review of soil organic carbon stocks changes in Amazonia. **Global Change Biology**, Hoboken, v. 21, n. 7, p. 2773-2786, 2015. DOI: 10.1111/gcb.12906

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle size analysis. *In*: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.) **Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 255-293.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002. DOI: 10.1590/S0100-204X2002000200015

GOUGOULIAS, C.; CLARK, J. M.; SHAW, L. J. The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 94, n. 12, p. 2362-2371, 2014. DOI: 10.1002/jsfa.6577

GRANLI, T.; BØCKMAN, O. C. Nitrous oxide from agriculture. **Norwegian Journal of Agriculture Science**, Ås, v. 12, p. 7-128, 1994.

GREGORINI, P.; et al. Screening for diets that reduce urinary nitrogen excretion and methane emissions while maintaining or increasing production by dairy cows. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 551-552, p. 32-41, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.203

GROENIGEN, V.; et al. Seasonal variation in N₂O emissions from urine patches: Effects of urine concentration, soil compaction and dung. **Plant and Soil**, Berlin, v. 273, p. 15-27, 2005. DOI: 10.1007/s11104-004-6261-2

HENRY, B. K.; BUTLER, D.; WIEDEMANN, S.G. Quantifying carbon sequestration on sheep grazing land in Australia for life cycle assessment studies. **The Rangeland Journal**, Canberra, v. 37, n. 4, p. 379-388, 2015. DOI: 10.1071/RJ14109

HILLESHEIM, A.; CORSI, M. Capim-elefante sob pastejo. Fatores que afetam o consumo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 409-419, 1990.

HODGSON, J. The control of herbage intake in the grazing ruminant. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 44, n. 02, p. 339-346, 1985. DOI: 10.1079/PNS19850054

HOEFT, I.; et al. Response of nitrogen oxide emissions to grazer species and plant species composition in temperate agricultural grassland. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 151, p. 34-43, 2012. DOI: 10.1016/j.agee.2012.01.029

HOFFERT, M. I.; et al. Advanced Technology Paths to Global Climate Stability: Energy for a Greenhouse Planet. **Science**, New York, v. 298, n.5596, p. 981-987, 2002. DOI: 10.1126/science.1072357

HUHTANEN, P.; et al. Utilization and partition of dietary N in dairy cows fed grass silage-based diets. **Journal of Dairy Science**, Amsterdam, v. 92, n. 9, p. 3589-3599, 2008. DOI: 10.3168/jds.2008-1181

HYDE, B. P.; et al. The interactive effects of fertiliser nitrogen with dung and urine on nitrous oxide emissions in grassland. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, v. 55, n. 1, p. 1-9, 2016. DOI: 10.1515/ijafr-2016-0001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2002 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use**. Hayama: IGES, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press, 2014. p. 1435.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. EGGLESTON, H.S.; et al. (Eds.) Hayama: IPCC, 2006.

JONES, S.; DIEM, T.; ARN TEH, Y.; et al. Methane emissions from a grassland-wetland complex in the Southern Peruvian Andes. **Soil Systems**, Basel, v. 3, n. 1, p. 2-21, 2019. DOI: 10.3390/soilsystems3010002

KING, G. M.; ADAMSEN, P. S. Effects of temperature on methane consumption in a forest soil and in pure cultures of the methanotroph *Methylobacterium rubra*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 58, p. 2758-2763. 1992.

KLEIN, C. A. M.; ECKARD, R. J.; VAN DER WEERDEN, T. J. Nitrous Oxide Emissions in the Livestock Agriculture: Estimation and Mitigation. In: SMITH, K. (Ed.) In: **Nitrous Oxide and Climate Change**. Earthscan: Routledge, 2010.

KLEIN, C. A. M.; et al. Estimating a nitrous oxide emission factor for animal urine from some New Zealand pastoral soils. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v. 41, p. 381-99, 2003. DOI: 10.1071/SR02128

KLEIN, C. A. M.; PIÑARES-PATINO, C.; WAGHORN, G. C. Greenhouse Gases Emissions. In: McDOWELL, R. W. (Org.). **Environmental impacts of pasture-based farming**. Cambridge: CABI, 2008.

KNOWLES, R. Methane: processes of production and consumption. In: HARPER, L. A.; MOSIER, A. R.; DUXBURY, J. M. (Eds.). **Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change**. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1993. p. 145-156.

KRUPA, S. V. Global Climate Change: processes and products - an overview. **Environmental Monitoring and Assessment**, Berlin, v. 46, p. 73-88, 1997. DOI: 10.1023/A:100574410.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington DC, v. 304, p. 1623-1627, 2004. DOI: 10.1126/science.1097396.

LAL, R.; et al. **Word soil and greenhouse effect: An overview**. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; LEVINE, E.; STEWART, B. (Eds) Soils and global change. Boca Raton: CRC Press, 1995, p.1-7.

LIMA, M. A.; et al. **Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. 120 p.

LIMA, P. L. T.; et al. Relationship among crop systems, soil cover, and water erosion on a typic hapludox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, 2018. DOI: 10.1590/18069657rbc20170081

LUDWIG, J.; et al. Soil-air exchange of nitric oxide: an overview of processes, environmental factors, and modeling studies. **Biogeochemistry**, Berlin, v. 52, p. 225-257, 2001. DOI: 10.1023/A:1006424330555.

LUO, J.; et al. Nitrous oxide emissions from grazed hill land in New Zealand. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 181, p. 58-68, 2013. DOI: 10.1016/j.agee.2013.09.020

LUO, J.; LINDSEY, S. B.; LEDGARD, S. F. Nitrous oxide emissions from animal urine application on a New Zealand pasture. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 44, n. 3, p. 463-470, 2008. DOI: 10.1007/s00374-007-0228-4

LUO, J.; LINDSEY, S.B.; LEDGARD, S. F. Nitrous oxide emissions from animal urine application on a New Zealand pasture. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 44, p. 463-470, 2008. DOI: 10.1007/s00374-007-0228-4

MACHADO, C. B.; et al. Daily and seasonal patterns of CO₂ fluxes and evapotranspiration in maize-grass intercropping. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinha Grande, v. 20, n. 9, p. 777-782, 2016. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v20n9p777-782

MACHADO, F. S.; et al. **Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e conceitos de mitigação**. Brasília: EMBRAPA, 2011. 92 p.

MARSDEN, K. A.; et al. Sheep urine patch N₂O emissions are lower from extensively-managed than intensively-managed grasslands. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 265, p. 264-274, 2018. DOI: 10.1016/j.agee.2018.06.025

MARTINS, J. R.; et al. Soil Microbial Attributes Under Agroforestry Systems in the Cerrado of Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 25, n. 1, 2018. DOI: 10.1590/2179-8087.047616.

McSHERRY, M.; RITCHIE, M. E. Effects of grazing on grassland soil carbon density: a global review. **Global Change Biology**, Hoboken, v. 19, p. 1347-1357, 2013. DOI: 10.1111/gcb.12144.

MELLO, F. A. F. et al. **Fertilidade do Solo**. São Paulo: NOBEL, 1983.

MISHRA, V. K.; SHUKLA, R.; SHUKLA, P. N. Inhibition of soil methane oxidation by fertilizer application: An intriguing but persistent paradigm. **Environmental Pollution and Protection**, Wuhan, v. 3, n. 2, p. 57-69, 2018. DOI: 10.22606/epp.2018.32001

MONTES, F.; et al. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. **Journal of Animal Science**, Oxford, v. 91, p. 5070-5094, 2013. DOI: 10.2527/jas.2013-6584

MOORE, J. E. Forage crops. In: HOVELAND, C. S. (Ed.). **Crop quality, storage, and utilization**. Madison: Crop Science Society of America, 1980.

MOSIER, A. R. Chamber and Isotope Techniques. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMEL, D. S. (eds.) **Exchange of Traces Gases Between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere**. Berlin: Wiley, p. 175-187, 1989.

MOSIER, A. R.; et al. Measurement of net global warming potential in three agroecosystems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 72, p. 67-79, 2005. DOI: 10.1007/s10705-004-7356-0.

MOSIER, A.; et al. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development & Sustainability**, Berlin, v. 6, p. 11-49, 2004. DOI: 10.1023/B:ENVI.00000003627.43162.ae.

MOSS, A. R; JOUANY, J. P.; NEWBOLD, J. Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. **Annales de Zootechnie**, Paris, v. 49, n. 3, p. 231-253. 2000. DOI: 10.1051/animres:2000119.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6., 1952, Pennsylvania. **Proceedings...** Washington, DC: State College Press, 1952. p. 1380-1385.

MUÑOZ, M.; ZORNOZA, R. **Soil Management and Climate Change**. Effects on Organic Carbon, Nitrogen Dynamics, and Greenhouse Gas Emissions. Amsterdam: Academic Press, 2017. 396p.

NADAL-ROMERO, E.; et al. How do soil organic carbon stocks change after cropland abandonment in Mediterranean humid mountain areas? **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 566-567, p. 741-752, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.031.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and New World camelids**. Washington, DC: National Academies Press, 2007.

NEILL, C.; et al. Forest-and pasture-derived carbon contributions to carbon stocks and microbial respiration of tropical pasture soils. **Oecologia**, Berlin, v. 107, p. 113-119, 1996. DOI: 10.1007/BF00582241

NEILL, C.; et al. Net nitrogen mineralization rates in soils following deforestation for pasture across the southwestern Brazilian Amazon Basin Landscape. **Oecologia**, Berlin, v. 110, p. 243-252, 1997. DOI: 10.1007/s004420050157.

NOGUEIRA, A. K. S.; et al. Mission of nitrous oxide and methane in soil from pasture recovery areas in the Amazon Matogrossense. **Química Nova**, São Paulo, v. 38, n. 7, p. 937-943, 2015. DOI: 10.5935/0100-4042.20150109.

OHMORI, H.; et al. An improved dry ash procedure for the detection of titanium dioxide in cattle feces. **Animal Science Journal**, v. 84, p. 726-731, 2013. DOI: 10.1111/asj.12068

OLIVEIRA, D.; CARAMORI, P. H.; GRODZKI, L. **Mudanças globais do clima IAPAR e SEAB em busca de soluções**. Londrina: IAPAR, 2007. 22p. (IAPAR. Documento 29).

OLIVEIRA, P.P.A.; et al. Balanço do nitrogênio (^{15}N) da uréia nos componentes de uma pastagem de capim-marandu sob recuperação em diferentes épocas de calagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 6, 2007. DOI: 10.1590/S1516-35982007000900006.

PARANÁ. **Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2000.

PARKIN, T. B.; VENTEREA, R. T. Chamber-based trace gas flux measurements. In: FOLLETT, R. F. (Ed.). **Sampling protocols**. Washington, DC: USDA, 2010. p. 3-1, 3-39.

PELSTER, D. E.; et al. Methane and nitrous oxide emissions from cattle excreta on an East African grassland. **Journal of Environment Quality**, Madison, v. 45, n. 5, p. 1531, 2016. DOI: 10.2134/jeq2016.02.0050

PEREIRA, V. C. **Efluxo de CO₂ em diferentes sistemas de cultivo**. 2018. 50f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 2018.

PERES, M. T. P. **Padrão de pastejo e emissão de metano ruminal por ovinos em dois sistemas de terminação em pastagens**. 78f. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

PERGHER, M. **Emissão de óxido nitroso e metano do solo e de dejetos bovinos em sistemas integrados de produção com ILP e ILPF**. 48f. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PETERSEN, S. O.; et al. Annual emissions of CH₄ and N₂O, and ecosystem respiration, from eight organic soils in Western Denmark managed by agriculture. **Biogeosciences**, v. 9, n. 1, p. 403-422, 2012. DOI: 10.5194/bg-9-403-2012.

PIAZZETTA, H. V. L.; et al. Pastejo e nitrogênio sobre o crescimento de raízes na mistura de aveia preta e azevém. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, suplemento, p. 2749-2765, 2014. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n4Suplp2749.

PILLAR, V.; TORNQUIST, C.; BAYER, C. The southern Brazilian grassland biome: soil carbon stocks, fluxes of greenhouse gases and some options for mitigation. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 72, n. 3, p. 673-681, 2012. DOI: 10.1590/S1519-69842012000400006

PINTO, J. C.; et al. Soil organic carbon stocks in a Brazilian Oxisol under different pasture systems. **Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales**, Montpellier, v. 2, n. 1, p. 121, 2014. DOI: 10.17138/tgft(2)121-123

PIVA, J. T.; et al. Soil gaseous N₂O and CH₄ emissions and carbon pool due to integrated crop-livestock in a subtropical Ferralsol. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 87-93, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2013.09.008

POLI, C. H. E. C.; et al. Produção de ovinos de corte em quatro sistemas de produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 666-673, 2008. DOI: 10.1590/S1516-35982008000400012.

PULROLNIK, K. **Transformações do Carbono no Solo**. Planaltina, DF: EMBRAPA Serrados, 2009. 36p.

RAFIQUE, R.; HENNESSY, D.; KIELY, G. Nitrous oxide emission from grazed grassland under different management systems. **Ecosystems**, Berlin, v. 14, n. 4, p. 563-582, 2011. DOI: 10.1007/s10021-011-9434-x.

RANGEL, O. J. P.; et al. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2051-2059, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000500026

REID, R. S.; et al. Is it possible to mitigate greenhouse gas emissions in pastoral ecosystems of the tropics. **Environment, Development & Sustainability**, Berlin, v. 6 p. 91-109, 2004. DOI: 10.1023/B:ENVI.0000003631.43271.6b.

REINERT, D. J.; et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000500002

RIBEIRO, T. M. D.; et al. Características da pastagem de azevém e produtividade de cordeiros em pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 580-587, 2009. DOI: 10.1590/S1516-35982009000300025.

ROBERTSON, G. P.; et al. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions individual gases to the radiative forcing or atmosphere. **Science**, Washington, v. 289, p. 1922-1925, 2000. DOI: 10.1126/science.289.5486.1922.

RUMBEL, C. Carbon Storage and Organic Matter Dynamic in Grassland Soils. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; CHABBI, A. (Eds.) **Grassland Productivity and Ecosystem Services**. Cambridge: CABI, 2011. p. 65-72.

RUSSELL, J. R.; et al. Use of mob grazing to improve cattle production, enhance legume establishment and increase carbon sequestration in Iowa pastures. **Leopold Centre Completed Grant Reports**, v. 433, 2013.

SAGGAR, S.; et al. Measured and modelled estimates of nitrous oxide emission and methane consumption from a sheep-grazed pasture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 122, n. 3, p. 357-365, 2007. DOI: 10.1016/j.agee.2007.02.006

SAGGAR, S.; et al. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide and methane in New Zealand terrestrial ecosystems and their mitigation options: a review. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 309, n. 1-2, p. 25-42, 2008. DOI: 10.1007/s11104-007-9421-3

SAINJU, U. M.; et al. Soil greenhouse gas emissions affected by irrigation, tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization. **Journal of Environmental Quality Abstract - Atmospheric Pollutants and Trace Gases**, Madison, v. 41, n. 6, p. 1774-1786, 2012. DOI: 10.2134/jeq2012.0176.

SAVIAN, J. V. **Rotatinuous stocking: an innovation in grazing management based on animal behaviour and implications to pasture production, foraging behaviour, herbage intake and methane emission by grazing sheep**. 2017. 183f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

SCHINDLBACHER, A.; et al. Effects of soil moisture and temperature on NO, NO₂, and N₂O emissions from European forest soils. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Hoboken, v. 109 (D17), 2004. DOI: 10.1029/2004JD004590.

SEGNINI, A.; et al. Soil carbon stock and humification in pastures under different levels of intensification in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 76, n. 1, p. 33-40, 2019. DOI: 10.1590/1678-992x-2017-0131

SEIJAN, V.; et al. **Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation**. New York: Springer, 2016. p. 532.

SHAH, A.; GAEBLER, R. N₂O and CO₂ emissions from arable and grassland soils under various moisture regimes: A Microcosm Study. **Malaysian Journal of Soil Science**, Serdang, v. 20, p. 95-110, 2016.

SHINJO, H.; KATO, A.; FUJII, K.; et al. Carbon dioxide emission derived from soil organic matter decomposition and root respiration in Japanese forests under different ecological conditions. **Soil Science and Plant Nutrition**, Amsterdam, v. 52, n. 2, p. 233-242, 2006. DOI: 10.1111 / j.1747-0765.2006.00023.x

SILVA, C. J. A. **Estratégias de suplementação e desmame precoce de cordeiros e sua influência nas características da pastagem e na produtividade animal**. 71

F. 2010. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, Curitiba, 2010.

SILVA, C. J. A.; et al. Efeito do *creep feeding* e *creep grazing* nas características da pastagem de tifton e no desempenho de ovinos. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 13, n. 2, p. 165-174, 2012. DOI: 10.5216/cab.v13i2.8812.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria Orgânica do Solo. In.: VERGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.) **Biologia do Solo**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 1997. p. 456-524.

SIMIONI, T. A.; et al. Potencialidade da consorciação de gramíneas e leguminosas forrageiras em pastagens tropicais. **PUBVET**, Londrina, v. 8, n. 13, art. 1742, 2014.

SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ - SIMEPAR. Disponível em: <<http://simepar.br/>>. Acesso em: 01 jun 2018.

SKINNER, R. H.; DELL, C. J. Yield and Soil Carbon Sequestration in Grazed Pastures Sown with Two or Five Forage Species. **Crop Science**, Madison, v. 56, n. 4, p. 2035, 2016. DOI: 10.2135/culturasoci2015.11.0711

SKONIESKI, F. R.; et al. Composição botânica e estrutural e valor nutricional de pastagens de azevém consorciadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 3, p. 550-556, 2011. DOI: 10.1590/S1516-35982011000300012.

SORDI, A.; et al. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 94-103, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2013.09.004

SOUZA, E. D.; et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1829-1836, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000600031

SPONSELLER, R. A. Precipitation pulses and soil CO₂ flux in a Sonoran Desert ecosystem. **Global Change Biology**, Chichester, v. 13, p. 426-436, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01307.x.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496p.

TAN, I. Y. S.; et al. Single-event nitrous oxide losses under maize production as affected by soil type, tillage, rotation, and fertilization. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 1, p. 19-26, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2008.06.005

TANENTZAP, A. J.; COOMES, D. A. Carbon storage in terrestrial ecosystems: do browsing and grazing herbivores matter? **Biological Reviews**, Hoboken, v. 87, n. 1, p. 72-94, 2012. DOI: 10.1111/j.1469-185X.2011.00185.x

TOMAZI, M.; et al. Sheep Excreta as Source of Nitrous Oxide in Ryegrass Pasture in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 1498-1506, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbcs20140497

UNITED NATIONS - UN. **The World Population Prospects: The 2017 Revision**. Volume II: Demographic Profiles. New York: UNITED NATIONS, 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Overview of Greenhouse Gases**. Disponível em: <<http://epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/ch4.html>>. Acessado em: 3 de Agosto de 2015.

VAN DEN POL-VAN DASSELAAR, A.; VAN BEUSICHEM, M. L.; OENEMA, O. Determinants of spatial variability of methane emissions from wet grasslands on peat soil. **Biogeochemistry**, Berlin, v. 44, n. 2, p. 221-237, 1999. DOI: 10.1007/BF00992980

VAN GROENIGEN, J. W.; et al. Nitrous oxide emission from urine-treated soil as influenced by urine composition and soil physical conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 37, n. 3, p. 463-473, 2005. DOI: 10.1016/j.soilbio.2004.08.009

VAN NOORDWIJK, M.; et al. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, n. 1-4, p. 187-225, 1997. DOI: 10.1016/S0016-7061(97)00042-6.

VERCHOT, L. V.; et al. Land-use change and biogeochemical controls of methane fluxes in soil of eastern Amazonia. **Ecosystems**, Berlin, v. 3, p. 41-56, 2000. DOI: 10.1007/s100210000009

VERCHOT, L.V.; et al. Land use change and biogeochemical controls of nitrogen emissions from soil in eastern Amazon. **Global Biogeochemical Cycles**, Hoboken, v. 13, n. 1, p. 31-46, 1999. DOI: 10.1029/1998GB900019

WHITE, R. P.; MURRAY, S.; ROHWEDER, M. **Pilot analysis of global ecosystems: grassland ecosystems**. Washington, D.C.: World Resources Institute, 2000.

WHITING, G. J.; CHANTON, J. P. Plant-dependent CH₄ emission in a subarctic Canadian fen. **Global Biogeochemical Cycles**, Hoboken, v. 6, n. 3, p. 225-231, 1992. DOI: 10.1029/92GB00710

WOLF, S.; et al. Strong seasonal variations in net ecosystem CO₂ exchange of a tropical pasture and afforestation in Panama. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 151, n. 8, p. 1139-1151, 2011. DOI: 10.1016/j.agrformet.2011.04.002

WRIGHT, I. A.; et al. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 92, p. 1010-1015, 2012. DOI: 10.1002/jsfa.4556

ZANATTA, J. A.; et al. Nitrous oxide and methane fluxes in south Brazilian gleysol as affected by nitrogen fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1653-1665, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000500018

ZANCHI, F. B.; et al. Medição do fluxo de CO₂ do solo: monitoramento com câmaras automáticas sobre floresta e pastagem em Rondônia. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL. 6., 2003, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Betânia, 2003. p. 631-632.

ZHOU, X.; WAN, S.; LUO, Y. Source components and interannual variability of soil CO₂ efflux under experimental warming and clipping in a grassland ecosystem. **Global Change Biology**, Hoboken, v. 13, n. 4, p. 761-775, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2007.01333.x